



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

**Programmgruppe Systemforschung
und Technologische Entwicklung**

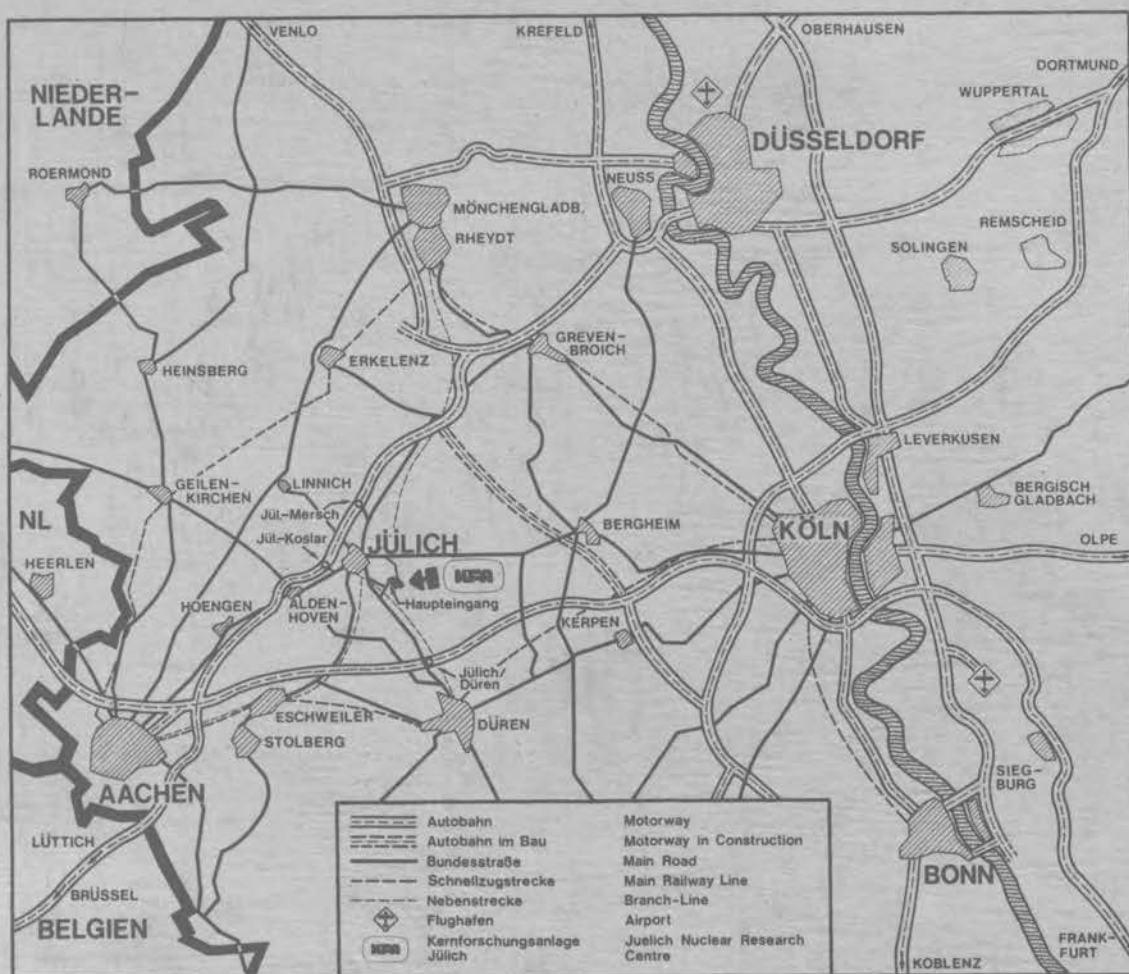
**Angewandte Systemanalyse
Nr. 27**

**Zur Einbettung der Energiewirtschaft in
die Volkswirtschaft
– Vier dynamische Modelle –**

von
E. Höpfinger, F. Drepper, R. Heckler, H. P. Schwefel

unter Mitarbeit
von
U. Hermes, H. Horst

**Jül - Spez - 166
Juli 1982
ISSN 0343-7639**



Als Manuskript gedruckt

Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich - Nr. 166

Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung Jül - Spez - 166

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: 02461/610 · Telex: 833 556 kfa d

Angewandte Systemanalyse
Nr. 27

**Zur Einbettung der Energiewirtschaft in
die Volkswirtschaft
– Vier dynamische Modelle –**

von
E. Höpfinger, F. Drepper, R. Heckler, H. P. Schwefel

unter Mitarbeit
von
U. Hermes, H. Horst

Die Arbeit wurde durch die Stiftung Volkswagenwerk gefördert.

Inhalt

Vorwort

Teil I	An International Energy: Technology Trade Model
Teil II	A Two-Sector Dynamic Equilibrium of an Open Economy
Teil III	Ein technologisch desaggregierter Ansatz zur Behandlung des preis-/kostenabhängigen Gleich- gewichts zwischen Energienachfrage und -angebot
Teil IV	Bestimmungsgrößen des Raumheizungsbedarfs in Ein- und Zweifamilienhäusern
Anhang	Ein Programmsystem zur Integration von Simulation und Optimierung

Vorwort

Gibt es ein Energieproblem? Diese Frage muß man wohl bejahen, wenn man die immer noch anhaltenden weltweiten Bemühungen beobachtet, regionale, sektorale, nationale und globale Studien zum Zwecke der Prognose, der Planung und Entscheidungshilfe durchzuführen. Daß das Problem nicht etwa akademischer Art ist, belegen die inzwischen getroffenen politischen Entscheidungen zur Steuerung des Energieverbrauchs mittels Steuern einerseits und Subventionen andererseits. Keines der bisher entworfenen Energiemodelle hat das Problem ausreichend breit behandelt, um es als erledigt ansehen zu können. Patentlösungen scheint es demnach nicht zu geben. Vielleicht muß man sogar so weit gehen, zu behaupten, daß das Energieproblem in seiner ganzen Tragweite noch nicht vollständig verstanden worden ist.

Warum ist diese Problematik so schwierig? Wohl deswegen, weil es sowohl übergeordnete Gesichtspunkte zu beachten gilt,

- wie die weltweit ungleichmäßige Verteilung der Ressourcen, die darauf zurückzuführenden Handelsverflechtungen sowie die national interindustriellen Rückwirkungen aufgrund der für Importe zu erbringenden Gegenleistungen

als auch spezifische technologische Gesichtspunkte

- wie rein technische Randbedingungen und thermodynamische Gesetzmäßigkeiten, die ihrerseits wieder Fragen der Wirtschaftlichkeit berühren.

Hinzu kommen, z.B. im Hinblick auf das Einsparen von Energie, soziale Verhaltensmuster der am ökonomischen Prozeß des Nachfrage-Angebot Gleichgewichts Beteiligten, Akzeptanzfragen und ökologische Gesichtspunkte, die man beachten muß.

Die analytische Zerlegung des Problems in Teilaspekte, die im ingenieur- und naturwissenschaftlichen Bereich durchaus erfolgreich ist, hat bei der Lösung des Energieproblems bisher eher marginale Erfolge gebracht, das Verständnis der Gesamtsystematik aber kaum gefördert. Das nachträgliche Zusammenfügen zuvor nach ganz unterschiedlichen Gesichtspunkten entwickelter Teilmodelle hat fast immer zu erheblichen Inkonsistenzen und Diskrepanzen zwischen Annahmen und Ergebnissen bzw. zwischen den Teilmodellen geführt.

Im Gegensatz zu einem solchen bottom-up Vorgehen wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen ein top-down Vorgehen versucht. Deswegen wurde zunächst auch Abstand davon genommen, die noch operablen Teile des früher entwickelten sehr umfangreichen, technologisch detaillierten Simulationsmodells als fixen Ausgangspunkt dieser Studie zu übernehmen. Vielmehr wurde zunächst der weltwirtschaftliche und dann, von diesem ausgehend, der volkswirtschaftliche Aspekt beleuchtet. Erst dann folgt der Schnitt zur Ebene der Einzeltechnologien. In zunehmenden Maße kommen dabei die verschiedenen Gruppen der Entscheidungsträger, ihre Teilziele und ihre Entscheidungsvariablen ins Spiel.

Im Teil I dieser Studie wurden nur ansatzweise sektorale Gesichtspunkte eingeführt. Es ging in erster Linie um die Frage nach einem Langfristvertrag für den Handel zwischen Ländern mit hohen fossilen Energiereserven, aber noch wenig ausgebauter Industrie, und hochindustrialisierten Ländern mit geringeren Vorräten an erschöpflichen Primärenergieträgern.

Im nächsten Schritt (Teil II dieser Studie) wurde ein dynamisches Gleichgewichtsmodell der Volkswirtschaft für die Bundesrepublik Deutschland entworfen, das auf immer noch hoch aggregiertem Niveau die langfristigen Verhaltensweisen der wichtigsten Partner im ökonomischen Prozeß erfaßt. Neben dem für unsere offene Volkswirtschaft so wichtigen Außenhandel,

der hier nur phänomenologisch behandelt wird, treten die privaten Haushalte, die Industrie (einschl. Handel und Dienstleistungssektor) und die Regierung als nach ihren jeweiligen Zielen handelnde Partner auf. Der produktive Bereich ist nur soweit wie für das Energieproblem unbedingt notwendig unterteilt, nämlich in zwei Sektoren: die Energie- und die übrige Wirtschaft. Obwohl nicht vollzogen, ist die Integration dieser beiden Teilmodelle ohne weiteres möglich. Es braucht nur "der Rest der Welt" in gleicher Weise wie die nationale Volkswirtschaft desaggregiert zu werden, um den Langfristtransfer von Rohstoffen gegen Konsum- und Investitionsgüter detaillierter als in Teil I zu behandeln.

Mit dem Problem, Einzeltechnologien, insbesondere Energietechnologien, in das Kurzfrist-Gleichgewichtskonzept zwischen Nachfrage und Angebot einzubeziehen, befaßt sich Teil III dieser Studie. Auch hier ist die Integrierbarkeit dieses Modellansatzes in das volkswirtschaftliche Gesamtmodell unmittelbar und ohne inhärente Inkonsistenzen gegeben.

Schließlich wird in Teil IV dieser Studie das Energienachfrageverhalten (einschl. des zugehörigen Teils des investiven Verhaltens) der privaten Haushalte wenigstens für den quantitativ bedeutsamsten Bereich näher bedeutet. Hier wurde den verschiedenen, nicht ausschließlich ökonomischen, und teilweise konkurrierenden Teilzielen bei der Energieversorgung Rechnung getragen. Dieses Teilmodell konnte aus zeitlichen und personellen Gründen nicht mehr bis zur Phase der Computer-Realisation vorangetrieben werden, von der sich Anregungen über eine geeignete makroökonomische Formulierung erwarten lassen.

Zur Vervollständigung des Satzes von Teilmodellen und damit auch für ein durch Verknüpfung der Ansätze zu realisierendes umfassendes Gesamtmodell fehlen noch zwei Bindeglieder: eines zur Beschreibung des antizipatorischen Investitionsverhaltens auf der Energieangebotsseite und auf der Nachfrageseite eines zur Erfassung der mittel- bis längerfristig orientierten Entscheidungen über den Kauf von sonstigen energieverbrauchenden dauerhaften Konsumgütern.

Insgesamt glauben wir aber mit den hier dargestellten Modellierungs-Teilschritten einen erfolgversprechenden ganzheitlichen Weg aufgezeigt und betreten zu haben. Die im Rahmen dieses Projekts mitentwickelte Software für die simulative Behandlung simultaner und dynamischer nichtlinearer Gleichgewichte und für die überlagerte Optimierung (siehe Anhang) ist hierbei ein ganz wesentlicher integrativer Bestandteil des Problemformulierungs- und -lösungskonzepts.

TEIL I

AN INTERNATIONAL ENERGY : TECHNOLOGY TRADE MODEL

E. HÖPFINGER, H.-P. SCHWEFEL

1. Introduction

During the past few years, it has become obvious that, whereas the consumption of some important resources has continually increased, their availability has lessened. Therefore one has to bear in mind the exhaustibility of a number of significant resources. In all developed countries the research for substitutes has increased. However, even if substitutes are available, it is still necessary to determine the optimal rate of depletion of existing resources and the optimal timing of the transition to the substitutes. Much attention has recently been given in the literature to these problems of exhaustible but essential resources (e.g. P.S. Dasgupta and G.M. Heal (1979), M.C. Kemp and N.V. Long (1980), and literature cited there). Most of the studies, however, formulate the problems in global terms as a centralized decision-making process. They do not consider that decisions may be dispersed among many countries and that the resource may be unevenly distributed over those countries. In fact, both reserves and production capacities for many exhaustible resources have an extremely uneven worldwide distribution. A number of interesting questions can be raised: How can resources be exchanged for consumption and investment goods? What are the optimal paths of substitution? Is there a preference for the concentration of production in one part of the world?

These questions have been treated in part in a special framework in the literature cited below. In the case of a game-theoretic approach the problem is usually modelled as a differential game with the NASH-equilibrium point as the solution concept.

We shall primarily be concerned with the substitution of fossil energy resources by non-fossil energy systems. The model given below, however, might also be used for other non-renewable resources. Two groups of countries exchange a fossil fuel, extracted from an exhaustible stock, for goods for either own consumption or indigenous investment. The economies of both groups are given as two-sector models, one sector being energy and the other representing the rest of the economy. These models are simpler than the one by D.B. Reister and J.A. Edmonds (1977) as fewer energy systems are considered and no price systems are introduced. The trade model here is based on the assumption that the two groups of countries differ in that

- one group has a small technological capacity but large fossil energy resources
- the other has a large technological capacity but few resources.

The size of the non-fossil energy system is assumed to be correlated to the level of technology. Both groups of countries strive to maximize their own long-term utility function which evaluates the consumption over time. The solution concept used for this two-person-non-zero-sum game is the NASH-bargaining solution.

2. Statement of the Model

Let F denote the group of countries with large fossil energy resources and N the group of countries which are highly industrialized and have an important non-fossil-energy supply system. The energy sector of each group of countries ($i=F, N$) is characterized by two equations in each period of time $t=1, 2, \dots$

$$T_t^i = \delta T_{t-1}^i + I_{T,t}^i + \chi^i J_{T,t}^i$$

$$E_t^i = [\lambda (O_t^i)^\gamma + (1-\lambda) (T_{t-1}^i)^\gamma]^{1/\gamma}$$

where

T_t^i = size of non-fossil energy system at period t

$I_{T,t}^i$ = investment into this energy system

$J_{T,t}$ = additional investment into this energy system by $i=F$ which is imported from $i=N$

$$\chi^i = \begin{matrix} 0 & i=N \\ 1 & i=F \end{matrix}$$

δ is an exogenously given aging factor which is close to one

E_t^i = energy available during period t

O_t^i = fossil fuel consumed

λ, γ are exogenously given parameters. Since fossil and non-fossil energy is assumed to be completely substitutable γ is only allowed to lie in the range $0 < \gamma < 1$ such that the production function of E_t^i is a C.E.S.-function.

It is assumed that the initial stock of fossil fuel G_0 is known to both groups of countries. Then the constraint

$$G_0 \geq \sum_{t=1}^{\infty} (O_t^F + O_t^N)$$

has to be satisfied. Furthermore, the initial values T_0^F and T_0^N are known to both groups. $O_t^i, I_{T,t}^i, J_{T,t}$ are regarded as decision variables whereas T_t^i and E_t^i are state variables.

The second sector of each group of countries, called the materials sector by analogy with Reister and Edmonds (1977), is characterized by the following two equations in each period of time

$$L_t^i = \varepsilon L_{t-1}^i + I_{L,t}^i$$

$$M_t^i = \lambda_0 (L_{t-1}^i)^\beta (E_t^i)^{1-\beta}$$

where

L_t^i = amount of qualified labour force

$I_{L,t}^i$ = investment for education

M_t^i = amount of materials produced.

L_O^F and L_O^N are assumed to be known. ε , λ_0 and β are exogenously given parameters. $I_{L,t}^i$ are regarded as decision variables.

In this model we consider only utilities which are based on consumption c_t^i which is determined by

$$c_t^i = M_t^i - I_{L,t}^i - I_{T,t}^i + (\chi^i - 1)J_{T,t} + (2\chi^i - 1)J_{C,t}$$

where $J_{C,t}$ denotes those goods which are consumed by F and are produced by the group N. The decision variables $I_{L,t}^i$, $I_{T,t}^i$ ($i=F,N$), $J_{T,t}$, $J_{C,t}$ are bounded by the condition $c_t^i \geq 0$ for each i and t .

In each period, the utility derived from the consumption of c_t^i is assumed to be given by an increasing and concave utility function u . Two examples will be considered

$$u_1(c) = c^K \quad \text{with } 0 < K \leq 1$$

$$u_2(c) = \ln c$$

The long-term objective of each group is assumed to be the maximization of its discounted integral utility

$$w^i = (1-\rho) \sum_{t=1}^{\infty} \rho^{t-1} u(c_t^i) \quad (i=F,N)$$

Let q^i denote the maximal pay-off to group i ($i=F,N$) if group i optimizes over the set of all possible investment decisions and possible decisions on its consumption of fossil energy in the case of no trade, i.e. $O_t^N = 0$,

$J_{T,t} = 0$ and $J_{C,t} = 0$ for each $t=1,2,\dots$. As it turns out both groups can achieve a better pay-off than the status quo point (q^F, q^N) if trade is included. But what should the terms of trade be?

Since the market power of the resource owning states might be limited by the greater political power of the industrialized countries we have selected a rather fair solution concept, the NASH-bargaining solution. Given individual rationality, feasibility, Pareto optimality, independence of irrelevant alternatives, invariance with respect to utility transformations, symmetry and the feasible region being closed, bounded and convex, the NASH-bargaining solution is given as the unique feasible point (W^{F*}, W^{N*}) which makes $(W^F - q^F)(W^N - q^N)$ maximal. Since the verification of the required properties of the feasible set is cumbersome, we only look for a joint strategy σ^* that maximises $(W^F(\sigma) - q^F)(W^N(\sigma) - q^N)$ (c.p. G. Owen (1968)). Later on we point to the possibility of using another solution concept.

3. Analytical Determination of the Status Quo Pay-Off q^N

Dropping the index $i=N$ the status quo pay-off q of the group of countries with negligible fossil resources is determined by

$$q = \max_{(I_{L,t}, I_{T,t})} (1-\rho) \sum_{t=1}^{\infty} \rho^{t-1} u(c_t) \quad t = 1, 2, \dots$$

$$c_t = \lambda_0 L_{t-1}^{\beta} (1-\lambda)^{\frac{1-\beta}{\gamma}} T_{t-1}^{1-\beta} - I_{L,t} - I_{T,t}$$

$$T_t = \delta T_{t-1} + I_{T,t}$$

$$L_t = \varepsilon L_{t-1} + I_{L,t}$$

$L_0, T_0, \rho, \lambda_0, \lambda, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$ are given parameters.

Let $k_t := L_t + T_t$. Now we assume that only the sum $k_t > 0$ of L_t and T_t is given. As can be shown by a simple proof, the value of the Cobb-Douglas production function $L_t^\beta T_t^{1-\beta}$ is maximal for $L_t = \beta k_t$ and $T_t = (1-\beta)k_t$ among all L_t and T_t with sum k_t . Based on this we make the following assumptions in order to arrive at an easier solvable problem. Let

$$L_0 = \beta k_0, \quad T_0 = (1-\beta)k_0$$

for a given $k_0 > 0$. Let $\epsilon = \delta$ and let the investment $I_t = I_{L,t} + I_{T,t}$ be split constantly into $I_{L,t} = \beta I_t$, $I_{T,t} = (1-\beta)I_t$. Then $T_t = \delta T_{t-1} + (1-\beta)I_t$ and $L_t = \delta L_{t-1} + \beta I_t$. By a simple proof based on complete induction one gets

$$L_t = \beta k_t, \quad T_t = (1-\beta)k_t$$

where $k_t = \delta k_{t-1} + I_t$ for $t = 1, 2, \dots$

Hence the problem can be formulated as follows

$$q = \max_{(I_t)_{t=1,2,\dots}} (1-\rho) \sum_{t=1}^{\infty} \rho^{t-1} u(c_t)$$

$$c_t = \eta k_{t-1} - I_t$$

$$k_t = \delta k_{t-1} + I_t$$

where $\eta = \lambda_0 (1-\lambda)^{\frac{1-\beta}{\gamma}} \beta^\beta (1-\beta)^{1-\beta}$

First let $u(c_t) = u_t^K$ with $0 < K \leq 1$ and assume a constant rate

$\mathcal{Q} = \frac{I_t}{M_t}$ of the total investments. The optimal pay-off q^+

is given by

$$q^+ = (1-\rho) \eta^K k_0^K \max_{0 \leq \mathcal{Q} \leq 1} (1-\mathcal{Q})^K \sum_{t=1}^{\infty} [\rho (\delta + \mathcal{Q} \eta)^K]^{t-1}$$

The convergence of this series is given as soon as $\rho(\delta + \alpha\eta)^K \leq 1$ for all $0 \leq \alpha \leq 1$ or $\rho(\delta + \eta)^K \leq 1$. In this case

$$q^+ = (1-\rho)\eta^K k_0^K \max_{0 \leq \alpha \leq 1} \frac{(1-\alpha)^K}{1 + [\rho(\delta + \alpha\eta)]^K}$$

The maximizing rate α^+ can be found by putting the derivative of the right-hand function equal to zero.

Proposition 1: Let $u(c_t) = c_t^K$ with $0 < K \leq 1$ and assume a constant rate of investment α . Let $\rho(\delta + \eta)^K \leq 1$ hold. The maximizing α^+ then is given by

$$\alpha^+ = \begin{cases} 0 & \text{if } K=1 \\ 0 & \text{if } [\rho(\delta + \eta)]^{\frac{1}{1-K}} < \delta \text{ and } K < 1 \\ \frac{[\rho(\delta + \eta)]^{\frac{1}{1-K}} - \delta}{\eta} & \text{if } [\rho(\delta + \eta)]^{\frac{1}{1-K}} \geq \delta \text{ and } K < 1 \end{cases}$$

Remark: Because $k_t = (\delta + \eta\alpha^+)^t k_0$ holds, growth is equivalent to $1 \leq \delta + \eta\alpha^+ = [\rho(\delta + \eta)]^{\frac{1}{1-K}}$ or $1 \leq \rho(\delta + \eta)$ as $\delta < 1$.

In order to arrive at easier expressions however we have used another utility function u .

Proposition 2: Let $u(c_t) = \ln c_t$ and assume a constant rate α of investment, i.e. $I_t = \alpha M_t$. Then the optimal pay-off q^t is given by

$$q^t = \ln \eta + \ln k_0 + \ln(1 - \alpha^+) + \frac{\rho}{1-\rho} \ln(\delta + \eta\alpha^+)$$

where

$$\alpha^+ = \max(0, \rho - (1-\rho)\frac{\delta}{\eta})$$

Growth is given if, and only if, $\rho(\delta + \eta) \geq 1$.

The proof is a simple analytical derivation where one has to bear in mind that $0 \leq \alpha \leq 1$ excluding negative investment

rates. Since $k_t = (\delta + \eta \mathcal{Q}^+)^t k_0$ growth is identical with $(\delta + \eta \mathcal{Q}^+) \geq 1$.

By derivation $q^+ \leq q^N$ holds in the case of $\delta = \epsilon$ and $(1 - \beta)L_0 = \beta T_0$. However it seems that q^+ equals q^N even if we do not require $I_{L,t} = \beta I_t$, $I_{T,t} = (1 - \beta)I_t$ and that the rate of investment is constant. Since we only needed a correction term for the numerical calculations as indicated below the derivation of q^+ was sufficient and we made no effort to prove that $q^+ = q^N$.

4. Numerical Results

A series of examples were treated numerically. Since all of them showed the same qualitative behaviour, we shall present one example only and comment on its general importance.

Let $\epsilon = \delta = 0.95$; $\rho = 0.9$; $\lambda_0 = 2.1$; $\lambda = 0.66$;
 $\beta = 0.3$; $\gamma = 0.4$;

$L_0^N = 300$; $T_0^N = 700$; $L_0^F = 30$; $T_0^F = 70$; $G_0 = 500$

Since, for numerical reasons, only a finite number of periods can be treated, we replaced the pay-off function w^i with logarithmic utility function by

$$w_a^i = (1-\rho) \left\{ \sum_{t=1}^T \rho^{t-1} \ln c_t^i + \rho^T [\ln \eta + \ln k_\tau^i + \ln(1-\rho + (1-\rho) \frac{\delta}{\eta}) + \frac{\rho}{1-\rho} \ln(\rho(\delta+\eta))] \right\}$$

where the pay-off from the periods $\tau+1, \tau+2, \dots$ is replaced by the pay-off given in proposition 2. Thus no trade and no depletion of resources is taken into account after period τ . k_τ^i is defined by

$$k_\tau^i := \min \left(\frac{L_\tau^i}{\beta}, \frac{T_\tau^i}{1-\beta} \right)$$

In the example, $\tau = 30$ was chosen in order to avoid a too large computational effort.

The results are depicted by the following thirteen figures. In figures one and seven G_t denotes the remaining stock of fossil energy available in period t , i.e.

$$G_t = G_0 - \sum_{s=1}^{t-1} (O_s^N + O_s^F).$$

The first six figures describe the development of both groups of countries without cooperation by means of trade. As can be seen the economy of the countries in group F with important fossil energy resources overtakes after some time periods the economy of the countries in group N for the given set of parameters. Nevertheless, the maximal pay-offs $q^N = 4.66$ and $q^F = 4.87$ are not very different. This is the result of discounting the pay-offs over time. Thus the first periods have a greater importance.

The remaining seven figures relate to the development of both where trade is an essential ingredient. Comparing the figures one and seven it seems that the rate of depletion of the stock of fossil energy is the same whether the countries cooperate or not. Altogether the figures indicate that first the countries of group N receive a greater part of the depletable fossil energy stock, make large investments to increase their capacity for production. Hence N is able to pay back the lent fossil fuel by exporting consumption and investment goods. The final figure shows almost identical consumption for both groups which can be explained by the tendency of the NASH-bargaining solution to give both parties the same gain by trade, indeed the final values $W^{N*} = 5.26$, $W^{F*} = 5.34$ do not differ very much either. It should be noted that the time axis runs down from the top to the bottom and that it is translated by 1, i.e., number j relates to time period $j+1$. The discontinuities between period 30 and period 31 are due to the approximation error generated by replacing the pay-offs of the later periods by the formula of section 3.

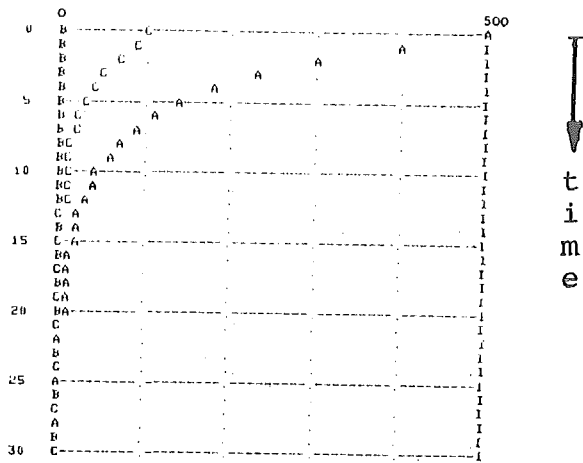


Fig. 1: Depletion and Consumption of Fossil Energy without Trade

$$A = G_t, B = O_t^N = 0, C = O_t^F$$

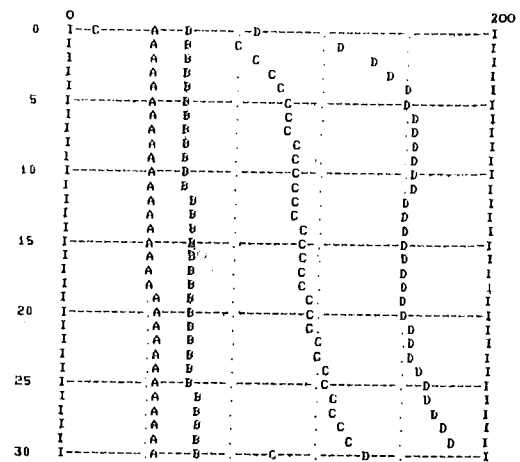


Fig. 2: Investments without Trade

$$A = I_{T,t}^N, B = I_t^N = I_{T,t}^N + I_{L,t}^N$$

$$C = I_{T,t}^F, D = I_t^F = I_{T,t}^F + I_{L,t}^F$$

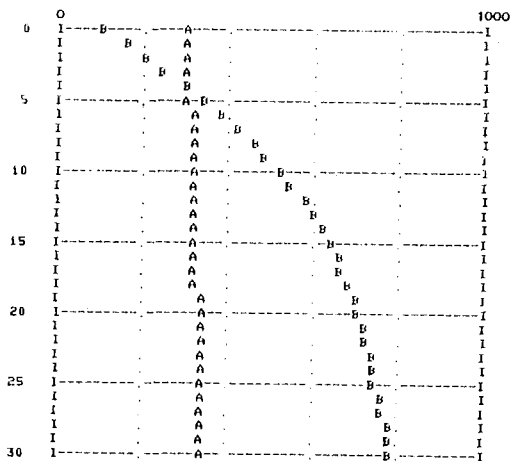


Fig. 3: Qualified Labour Force without Trade

$$A = L_t^N, B = L_t^F$$

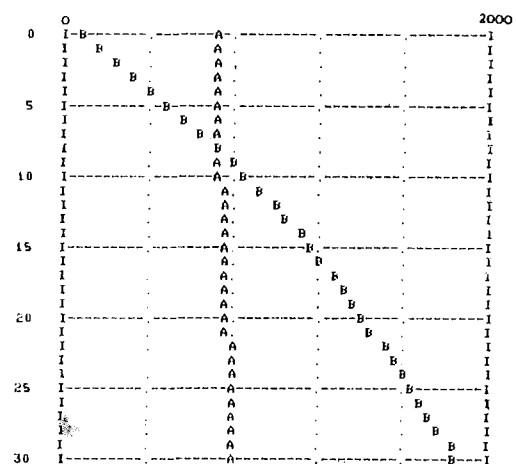


Fig. 4: Non-Fossil Energy System without Trade

$$A = T_t^N, B = T_t^F$$

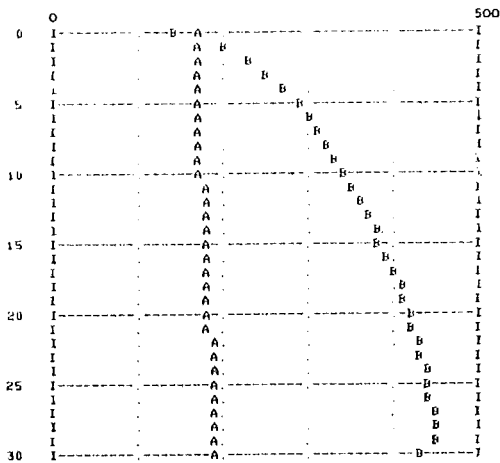


Fig. 5: Amount of Produced Materials without Trade

$$A = M_t^N, B = M_t^F$$

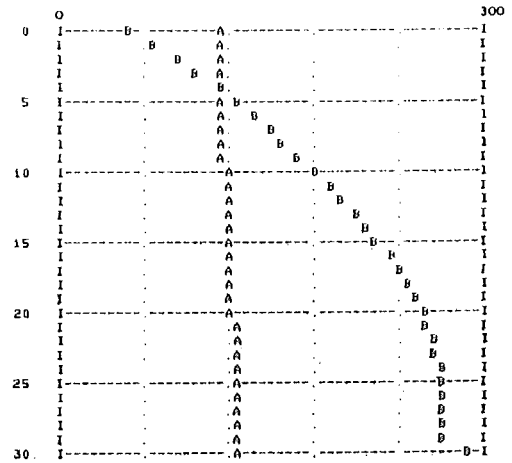


Fig. 6: Consumption without Trade

$$A = c_t^N, B = c_t^F$$

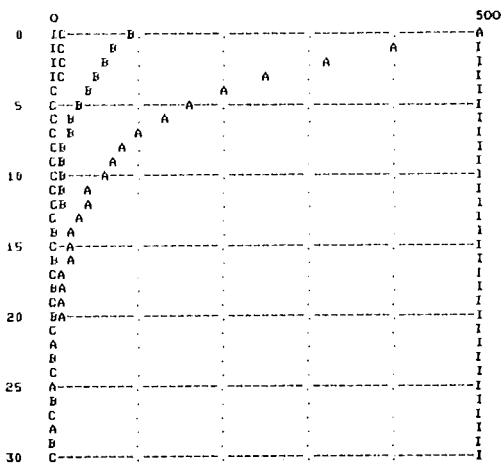


Fig. 7: Depletion and Consumption of Fossil Energy with Trade (Compare with Fig. 1, the non-Trade case)

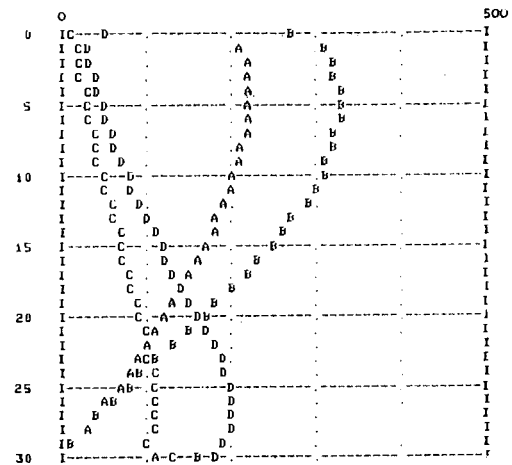


Fig. 8: Investments with Trade (Compare with Fig. 2)

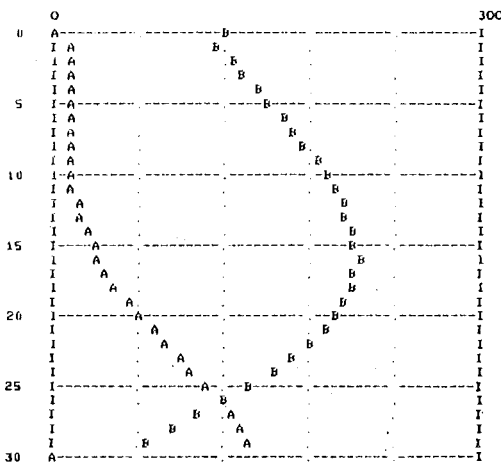


Fig. 9: Transfer of Goods from N to F

$$A = J_{T,t} \text{ investment goods} \\ B = J_{C,t} \text{ consumption goods}$$

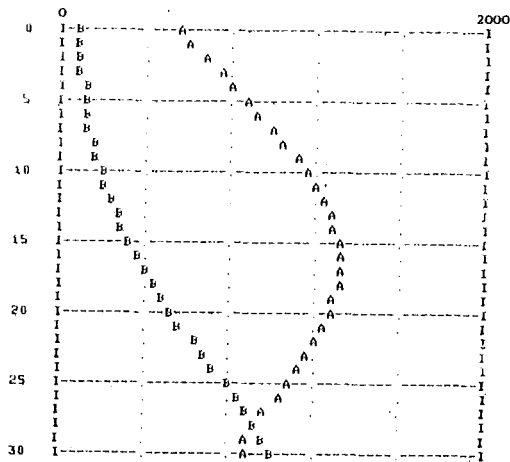


Fig. 10: Qualified Labour Force with Trade

$$A = L_t^N, B = L_t^F$$

(Compare with Fig. 3)

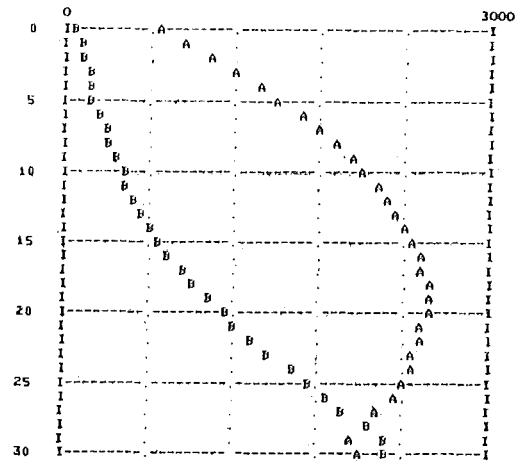


Fig. 11: Non-Fossil Energy System with Trade

$$A = T_t^N, B = T_t^F$$

(Compare with Fig. 4)

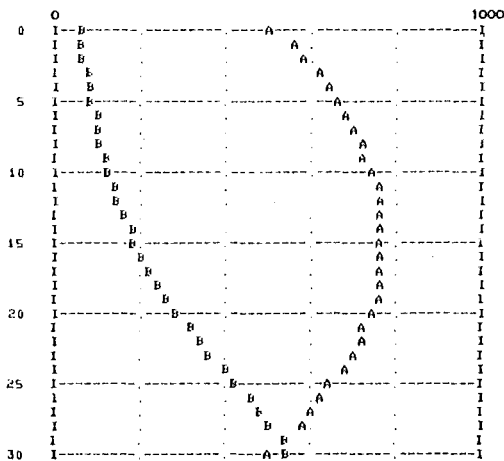


Fig. 12: Amount M_t^t of Produced Materials with Trade

A for N, B for F

(Compare with Fig. 5)

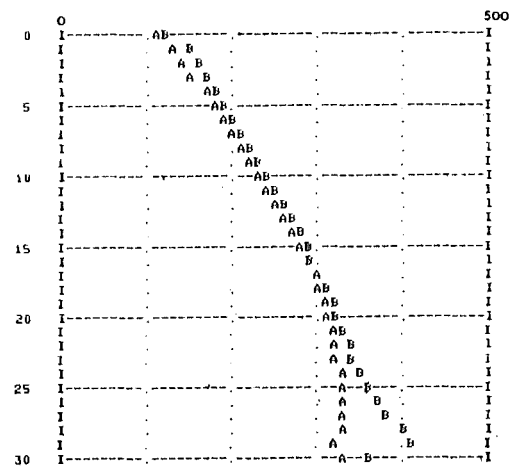


Fig. 13: Consumption c_t^i with Trade

A for N, B for F

(Compare with Fig. 6)

5. Conclusion

In this paper we have attempted to obtain some qualitative results of possible terms of trade between resource-rich and industrialized countries. The model presented is optimistic in that no inertia effects for investments are regarded, long-term binding agreements are considered as possible, and that a "fair" solution concept is used. However, inertia effects may quite well lead to different production functions for the parties and thus yield quite different results.

The NASH-bargaining solution lacks stability in a dynamic situation (A. Haurie (1976)) in that one party may have a much better position in a later period and then break the agreement, e.g. after a few time periods N has consumed a substantial part of fossil energy whereas exports have had a smaller value. Solution concepts like hierarchical NASH-equilibrium in strategies don't have this shortcoming and hence one might apply these solution concepts. However, one can circumvent this problem, in part at least, in that one allows F to engage itself in the economy of N under the assumption that expropriation is excluded because of internal or external political reasons. In order to handle this problem thoroughly one would have to take into consideration the benefits which F might have from a permanent engagement in N. This, however, is outside the scope of this study. It should be mentioned that short term NASH-bargaining solutions might also be considered.

The main results of the model are

- the depletion of the fossil energy resources seem to be the same whether there is trade or not,
- long term trade agreements seem to be most profitable for both parties such that in the beginning the industrially more advanced group receives a larger amount of the depletable resource and repayment by exports to the

group with large fossil energy resources takes place in later time periods.

The first of these main results is supported by the similarity of the depletion curves ($A = G_t$) in figures 1 and 7. The second main result is shown graphically in figure 9 by curves for the transfer of investment and consumption goods.

Other numerical results indicate that no development of the non-fossil energy system may occur. From this a lexicographic preference ordering of the strategies may be necessary such that among all strategies yielding maximal pay-offs of the pay-off functions described above, those are chosen which yield the maximum size of the non-fossil energy system of the group with important fossil energy resources. Further extensions of the model might include price systems and more parties.

References

- Dasgupta, P.S., and G.M. Heal (1979), *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge University Press, Digswell Place, Welwyn, U.K.
- Haurie, A., (1976), A Note on Nonzero-Sum Differential Games with Bargaining Solution, *JOTA*, 18(1), pp. 31-39
- Kemp, M.C., and N.V. Long (eds.) (1980), *Exhaustible Resources, Optimality and Trade*, North Holland, Amsterdam.
- Owen, G., (1968), *Game Theory*, W.B. Saunders, Philadelphia
- Reister, D.B., and J.A. Edmonds (1977), A General Equilibrium Two-Sector Energy Demand Model, pp. 199-246, in Hitch, Ch.J. (ed.) *Modeling Energy-Economy Interactions: Five Approaches*, Resources for the Future, Washington, D.C.

Software Tools

As for the software used for the numerical calculations, i.e. a combined simulation and optimization package, we refer to

- Drepper, F., (1978), A Data-Model Interface for Modular Dynamic Simulation, *Proceed. Winter Simulation Conference*, Miami Beach, December 1978, pp. 313-321
- Heckler, R., and H.P. Schwefel (1978), Superimposing Direct Search Methods for Parameter Optimization onto Dynamic Simulation Models, *Proceed. Winter Simulation Conference*, Miami Beach, December 1978, pp. 173-181

TEIL II

A TWO-SECTOR DYNAMIC EQUILIBRIUM OF AN OPEN ECONOMY

BY F. DREPPER AND H.-P. SCHWEFEL

Contents

1	Introduction
2	The Production Sectors
3	The Private Households Sector
4	Interactions with the World Economy
5	The General Accounting and Equilibration Scheme
6	First Results
	6.1 Case Study One
	6.2 Case Study Two
7	Further Developments
8	References

1. Introduction

No later than after the first crude oil price explosion in the period from 1973 to 1974 by a factor of about 2.5 did the political leaders of oil importing countries feel the necessity for active energy policy. The question is how to meet the challenge in the best way, as there are several possible solutions to the problem, e.g.:

- by becoming more independent of oil imports
 - by switching from oil to other energy sources
 - by energy conservation and more rational energy use
- by trying to increase exports in order to be able to pay for the imports.

The second price shock between 1978 and 1982, which was even more drastic because of a simultaneous increase in the dollar exchange rate, has put further emphasis on the need for decisions and decision aids to cope with the problem. Even though the energy consumers, especially the private households, have answered with a considerable reduction in their energy consumption, the secondary problem - depression of the whole economy - has not yet been solved.

Decision making in such a situation may be based either

- upon intuitive guesses,
 This does not mean a completely model-free approach as one might think in the computer-age. Instead of formal models, only mental models are used based upon experiences from similar situations in the past. These experiences may be positive if resulting from a past success or otherwise negative. In the latter case one may have learned at least what not to repeat in the future. This kind of approach implies similarity between the present and past situations.

- or upon formal modelling.

To build a formal (e.g. computer) model means to structure and simplify the problem rather than to copy the real world or part of it /1/. One has to parameterize the set of alter-

natives and to search, by heuristic simulations and/or numerical optimization, for the best among several alternatives. One or frequently several objectives have to be identified and combined with each other, e.g. by defining an appropriate bargaining solution to a cooperative game. The second approach using formal modelling is not always the best one because it may cost a lot of money and time, which again is money, as one says. After the phase of enthusiastic energy modelling and the second phase of depression with critics like "garbage in - garbage out" and "opinion in - opinion out" /2/ directed to the modelers one central issue has been the sentence: "An expert with a model is better than an expert without a model in decision making". Here the formal modelling way was chosen, not so very much for actual decision aiding purposes but mainly for adding knowledge about energy-economy interactions during the act of structuring the problem.

A lot of different energy models have already been developed throughout the world:

- regional models for cities and communities to give decision aids in a specific situation, e.g. to decide upon one or the other type of energy conversion unit, its size and location,
- sectoral models for a certain branch or even firm of the economy to answer unit commitment and capacity planning questions,
- national models for forecasting the energy demand and looking for an appropriate overall energy supply pattern,
- global models as a tool for international cooperation between developed and developing, resource-rich and resource-poor countries. These models are mostly regionalized in order to be able to cope with the fact that the actual structure of the world shows a lot of quantitative disharmonies.

National as well as global energy modelling efforts tend to be split up into subtasks:

- macroeconomics, - energy demand, - energy supply,
- environmental impact.

Due to the discipline-orientated scientific education, experts

from several fields are needed for pursuing the subtasks and the mutual attachment of persons to problems is quite natural. For example the economists will formulate the macro-economic and perhaps the energy demand submodels; the engineers will formulate the energy supply and perhaps part of the energy demand model; the ecologically educated people will formulate the environmental impact module.

Every team of course has its specific methodology and language, the latter forming the basis of structuring the problem, the former of solving it. Finally the top managers and the computer specialists have to merge the models. Thinking along traditional paths one forms a queue, sequentially following the arrows of main information streams /3/. Beginning with estimations for the development of the population and the gross national product of one or more regions/countries, an input-output module calculates sectoral growths (or declines), an econometric module calculates final (or useful) energy demand categories, the supply module calculates the necessary capacities and/or load factors for mining, conversion and transport, and finally emissions (more seldom immissions) of pollutants are calculated within the environmental module. Large-scale models always need a lot of exogenous inputs. How difficult it is to prepare consistent input data sets for a model made up of different separately developed modules is shown in the US government effort "Global 2000". To harmonize the inputs, which means to reduce the discrepancies iteratively, failed in this case within three years of extensive work. The absence of formalized back-couplings was the main reason for that great failure.

Adding back-couplings alone does not give any guarantee, however, that the results will be more profound. The first world models of the Club of Rome members and the following critiques from the side of systems theory show this clearly /4/. We do not want to go deeper into this methodological debate except for one point: back-couplings with delays certainly occur in reality, in organisms as well as in technical systems - as is emphasized by cybernetics. Feedback controls in technical

processes as well as in organisms and organizations aim at stabilizing the system or at least a subsystem. In addition to the short term balancing mechanisms there should be long-term stabilization efforts which cannot be done without anticipating future events.

The history of past modelling efforts has shown that there are many pitfalls of analysis /5/. Although the analysis of these pitfalls does not give a clear guide how to proceed properly, it may help to avoid making the same mistakes once again. At least there are two types of critiques which must be taken seriously:

- the garbage in - garbage out critique. It was mainly raised against the first world models and their methodology, the System Dynamics approach /6/. Unable to handle equilibria, all relations had to be formalized as recursive difference equations using time delays for all back-couplings. As the number of exogenous parameters was aimed to be kept very low, a lot of non-causal (behavioural) relations had to be added. The result was that only small changes of some input data could lead to a totally different behaviour of the system. Counter-intuitive effects have to be interpreted, at least subsequently. The set of results from computer experiments has to be retransformed into a mental model in order to be able to be verbalized. One should not simply believe in the results.
- the opinion in - opinion out critique.
This kind of critique was raised against models which need large amounts of input data. This is especially true for models made up of several separately developed submodels which are coupled subsequently. Even if one can manage the problem of minimizing inconsistencies between the different sets of input data and between the outputs of one module and the inputs of the other, a lot of subjective information will be put into the model. That is why such bottom-up approaches often give rise to discussions about: "What are the assumptions, and what are the results?"

The opposite way would be a top-down approach, beginning with a highly aggregated but fully integrated model of the whole complex, i.e. with the links between the main subsystems which might be disaggregated again later on. Sectoral and regional aspects should not be taken into consideration at first. The same point of view holds for the time structure. A static view on some special time in the future, however, cannot ensure, that a picture designed for it can be reached without disruptions of the current lines of development. On the other hand, at the beginning one should not go as deep into the time - , sectoral and regional structures, so that disequilibria become important. At least at a higher level of aggregation it can be assumed that the system follows instantaneously some equilibria conditions.

Most people engaged in modelling today agree that no model of a certain system can be so universal that it may serve as a general purpose problem solving tool. Every model should have a special purpose in order to solve at least one kind of problem adequately. So the first step in a modelling task has to be the analysis and specification of the model's purpose.

In this case the overall purpose is given by the main goals of the Programme Group of Systems Analysis and Technological Development (STE) within the Nuclear Research Centre Jülich (KFA). These may be summarized by the slogans:

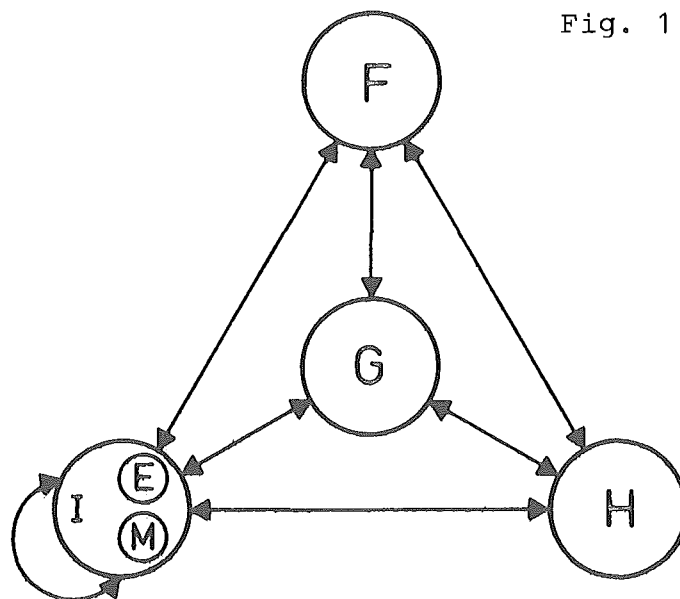
- analysis of energy systems with special attention to their embedding in the national and world economy,
- emphasis on long-term developments and opportunities,
- advice and decision aid for the political leaders.

The success of Operational Research (Operations Research) is mainly due to its decision-orientated thinking. Applying it to the problem area outlined above, one should ask now: "Who decides upon what". A first classification of the operating agents and their role within the energy economy could be:

- the private households which decide upon their expenditures within their budget constraint (short-term aspect) and upon their savings versus investments policy (long-term aspect)

- the industry which decides upon the use of installed production capacities (short-term) and upon the installation of new capacities (long-term)
- the national government which decides upon taxes, customs, and subsidies in order to allow for a continuous long-term economic growth as well as upon short-term actions on the financial system to calm down conjunctural effects
- the rest of the world with a lot of separate decision making economic agents.

A most natural structuring of the different objectives of the economic agents is a hierarchical one. Within such a frame every subsystem is autonomous with respect to some decentralized decisions, but at the same time it is coordinated on a higher level /7/. Giving emphasis to political leaders' questions one could draw the following picture (fig.1) of the interdependencies.



Symbols used:

- F foreign countries
- G government
- H private households
- I industry (including commerce and non-governmental services)
 - E energy economy
 - M rest of the economy

The following levels of decisions may be identified:

Level 1: The interindustrial transactions at a fixed time period are handled within a usual input-output scheme

(to j =)

	E	M	D
(from i=)			
E	ZEE	ZEM	ZED
M	ZME	ZMM	ZMD
O	ZOE	ZOM	

with - D final demand (e.g. private households)

- O other inputs (e.g. labour force)

Every element Z_{ij} measured in current monetary units, may be written as

$$Z_{ij} = Y_{ij} \cdot P_{ij} = a_{ij} X_j P_{ij}$$

Here Y_{ij} represents the same quantity measured in monetary units of the base year (equivalent to physical units) and P_{ij} the corresponding price index (1 in the base year). X_j represents the gross production of each sector. Assuming a common price index for all elements of each row we get

$$Z_{ij} = a_{ij} X_j P_i.$$

The I-O coefficients a_{ij} being fixed and the final demand in physical units (Y_{iD}) being given as well as the factor input prices (P_0), the production prices and levels can be calculated by solving a set of simultaneous linear equations.

On this first level, one may say, that the unit commitment problem is solved. No delay times exist and no capacity constraints are limiting the levels of production.

Level 2: The I-O coefficients in reality are not constant because of substitution effects. A common way of describing substitution is by assuming that every commercial sector reacts to relative changes of factor prices so as to minimize total costs. The possible substitution pattern between the factor inputs will be described by so-called innovation possibility functions with fixed values for the substitution elasticities. Since the technology horizon of these functions is assumed to contain technologies which have no relevant market shares up to now, an econometric estimation of the elasticities did not seem to be appropriate. A-priori estimates have been used instead. The final demand, at least with respect to its private households share, and its break-down to the different commodities also changes over time. The main influence again is given by relative price changes on the one hand and by the disposable budget on the other. Following neo classical theory the budget allocation decisions of the private households are described by a utility maximization principle. One of the most simple forms of a utility function is the Stone Geary function leading to a so-called Extended Linear Expenditure System (ELES) which is used here.

Production as well as utility functions being specified analytically, the cost minimization and the utility maximization need not be handled by numerical optimization procedures. One can set up the necessary optimality conditions by means of a differentiation process. This leads to a set of non-linear simultaneous equations which is iteratively solved for every time period /8/.

Level 3: Besides trying to adapt to the actual situation, every operating agent who is capable of learning will anticipate future developments. Especially investment decisions are strongly based on expectations about the future. This is true for the private households which decide upon expected wage increases for instance, but even more for the industrial sectors. The lead times between ordering a new plant and its

operability are often so large, that it is necessary to forecast demand and supply conditions over the next 10 to 15 years. If no external information is available and no individual goal is present, then trend extrapolation is still a common behavioural pattern. The expectations of the economic agents may sometimes happen to be so different from each other that the government feels the necessity to spread information about current national and global trends. This may be seen as long-term coordination between consumers and suppliers, and should be treated on the highest hierarchical level. Although private households and industrial sectors take the responsibility for investment decisions, the government's influence on the investment climate and conditions is very important. Keeping this in mind, we wanted to ask for optimal investment policies, especially with respect to the energy economy. Later on it would be worthwhile to treat the private household's investment policy in a similar manner /9/.

The Federal Republic of Germany has a much more open economy than most other countries. Our exports surpass one fifth of the final demand for commodities each year. The balance between imports and exports therefore is of crucial importance for the whole economy. Since the balance of payments has a nonnegligible influence on exchange rates and interests, it should be taken into account within a national economy model, too. This could only be done phenomenologically here. A better approach would be to set up a similarly disaggregated module for "the rest of the world" and then look for short- or even long-term bargaining solutions for the international trade by means of a game-theoretic concept.

Setting upper and lower limits for foreign credits and debts, investment patterns for the energy and the materials sectors were searched for, so as to

maximize the utility of consumption

minimize the energy imports.

Points of the trade-off curve were found by use of the optimization package OASIS / 8 / which allows to superimpose direct parameter optimization routines onto DAIMOS-guided simulation models.

2. The Production Sectors

Economic reality can be characterized as a concerted action of thousands of producers and millions of consumers interacting via thousands of commodities (goods and services) and production factors (inputs to production e.g. different types of labour force or capital). On top of this the role of the government and the conditions of foreign trade have to be considered. To keep a model of economic reality transparent the number of economic agents as well as of commodities and production factors has to be reduced drastically. The main idea behind this simplification is that the behaviour of the producers on the one hand and the consumers on the other is determined predominantly by one objective each. Following the neoclassical approach to economic theory the two rationals of economic behaviour are profit maximization on the side of the producers and utility maximization on the side of the consumers.

The model to be described here distinguishes one (private households) consumer sector and two production sectors producing one commodity each. The two commodities are final energy and all other goods and services. We will refer to the first production sector as the energy sector and to the second one as the materials sector.

Keeping in mind that every sector consists of a greater number of individual agents we assume that each sector behaves competitive which means that there are unique prices of factors and commodities and that all agents take those unique prices as given. Each individual agent either does not have or does not use a strategic market power. For the production sectors we assume that there is full competition within each sector. However the competition of the two sectors on the factor markets is restricted to the labour market. By this we allow for different factor prices for the use of capital in each sector.

Besides the two home produced commodities the model distinguishes between different imports and so-called primary production factors. As for the imports we distinguish between complementary and competitive imports. The competitive imports are those imports which go directly to the consumer usually in competition with home produced commodities. The complementary imports are production factors. Imports of energy are treated exclusively as complementary imports. The competitive imports are treated in connection with the private households sector. Besides the complementary imports there are the primary production factors which are characterized by the fact that they cannot be augmented beyond given limits. Neoclassical theory distinguishes the factors labour and capital. For each primary factor there is a stock variable which acts as constraint to production and a rate variable representing the annual economic rent which has to be paid for the use of the corresponding stock. In our model we have only one type of labour force and two types of capital, representing the production facilities of each sector.

To be able to describe energy substitution by other production factors we include the interindustry transactions of the two commodities into the list of the production factors.

The restriction to a relatively small number of different production factors implies that a lot of different goods of economic reality have to be treated as one homogeneous good which means that these goods are complete substitutes in production as well as in consumption.

In the simplest model of production the different homogeneous inputs are used in fixed proportions to form the product which is equivalent to saying that the inputs are complete complements. In a long term model of the interaction between the energy sector and the rest of the economy the substitution of energy by other factors is an essential feature which has to be reflected in the model. There are two common approaches to describe substitution effects in production. The so-called activity analysis approach (e.g. by means of Linear Programming) on the one hand and the use of non linear analytical

production functions with appropriate qualitative properties on the other. The first approach is best suited for disaggregated models the second for highly aggregated ones. The most commonly used qualitative features of production functions are summarized in the neoclassical theory of the firm. (see e.g. /10/)

In neoclassical theory the substitution possibilities in production are described by a production function $F(X_1, \dots, X_i)$ which gives the maximum possible output for every combination of input factors X_1, \dots, X_N . For a discussion of the properties of the function F it is useful to consider the isoquants of production, that are those combinations of input factors which yield the same output. Neoclassical theory restricts the isoquants to be convex. This concept includes the two limiting cases of complete substitutability (straight line isoquants in 2 dimensions) and complete complementarity (right angle isoquant).

Neoclassical theory describes the dynamics of factor substitution as the profit maximizing immediate response to the momentary price system. That means if there are two time points in history when the relative prices (and output levels) coincide then the factor demand shares will be the same.

In analogy to the mechanics of continua the reaction of factor demands to prices is compared to the relationship between strains and stresses. In this picture the neoclassical theory assumes an elastic relationship between factor demands and prices. In contrast to elasticity theory the price elasticity matrix in economics is defined by logarithmic derivatives.

$$\epsilon_{ij} = \frac{\partial \ln x_i}{\partial \ln P_j} \quad (i, j = 1, 2, \dots, N)$$

where P_j is the price of factor j . The use of the logarithmic derivatives reflects that the vanishing of either factors or prices corresponds to a singular state of production.

Generally speaking one can say, the elastic relationship between factor demands and prices does not take account of irreversibilities in history. More specifically one can say the

elastic response does not distinguish between long-term and short-term substitution possibilities. Since energy conservation is strongly influenced by long living capital goods the simple neoclassical approach seems to be too restrictive. Instead we will use the so-called "putty-clay" assumption /14/ which means that new invested capital behaves like putty (rubber would be a better analogon) but once the capital is invested it behaves like hard baked clay which means that there is no more substitution. The substitution effects in the gross new invested capital will be described by an "innovation possibility function" which we assume to have the same qualitative features as a conventional neoclassical production function.

The additional neoclassical assumption of constant returns to scale

$$F(\lambda x_1, \dots, \lambda x_N) = \lambda \cdot F(x_1, \dots, x_N)$$

seems to be particularly appropriate for the description of substitution possibilities in capital equipment which is to be invested. Profit maximization of a constant returns to scale production implies that the output of each sector is determined either by the demand or by a primary factor constraint, whatever constraint is most binding (In general equilibrium the prices are adjusted so that all constraints are binding simultaneously.) Under the assumption of complete competition within each sector, the profit maximization of each individual firm in the sector leads to a cost minimizing behaviour of the sector as a whole and the sector specific factor price for capital (unit cost share corresponding to the use of capital) will adjust in such a way that the profits vanish /11/. Making use of constant returns to scale, factor substitution is completely determined by the minimization of the costs for the production of one unit of output.

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^N P_i x_i \mid F(x_1, \dots, x_N) = 1 \right\}$$

It turns out that the necessary conditions for the cost minimum

$$P_i = \frac{\partial F}{\partial x_i} \sum_{j=1}^N P_j x_j$$

lead to an implicit equation system for the factor demands x_i which cannot be solved analytically for sufficiently realistic types of production functions. In this situation it is common practice in empirical economics to make use of a duality theorem /12/ which states essentially that every neoclassical production function can be represented by a unique dual unit cost function which is obtained by inserting the price dependent optimal factor demands $x_i^* (P_1, \dots, P_N)$ into the cost function

$$C(P_1, \dots, P_N) = \sum_{i=1}^N P_i x_i^* (P_1, \dots, P_N) \quad (2.1)$$

The dual unit cost function is also a linear homogeneous function and has convex isocost curves. The first property can be used to derive the factor demands from a unit cost function. Since x_i^* represents the i th factor demand for the production of one unit of output, we can identify x_i^* with the long term optimal I - O coefficients which we will denote as $b_i (P_1, \dots, P_N)$. On the other hand $C(P_1, \dots, P_N)$ obeys Eulers identity for homogenous functions

$$C(P_1, \dots, P_N) = \sum_{i=1}^N P_i \frac{\partial C}{\partial P_i}$$

Since this holds for every set of prices we can obtain the optimal I - O coefficients by comparison

$$b_i = \frac{\partial C}{\partial P_i} \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (2.2)$$

For given outputs this is an explicit representation of the factor demands. Equation (2.2) is known as Shephard's lemma.

Making the dynamic distinction between 4 different types of capital

- Gross new invested capital
- Old capital which is upgraded to the standard of new capital
- Old capital which is not upgraded or decommissioned
- Old capital which is decommissioned

and assuming the same load-factors for the first three components of capital, we can summarize the putty-clay assumption by the following time incremental relationship for the average $I = 0$ coefficient a_i of one sector.

$$a_i(t) = \frac{1 - \delta_i - \vartheta_i}{1 - \delta_i + \eta_i} a_i(t-1) + \frac{\eta_i + \vartheta_i}{1 - \delta_i + \eta_i} b_i(t) \quad (2.3)$$

with $\eta_i = Y_{Ii}(t) / CS_i(t-1) \quad (i = E, M)$

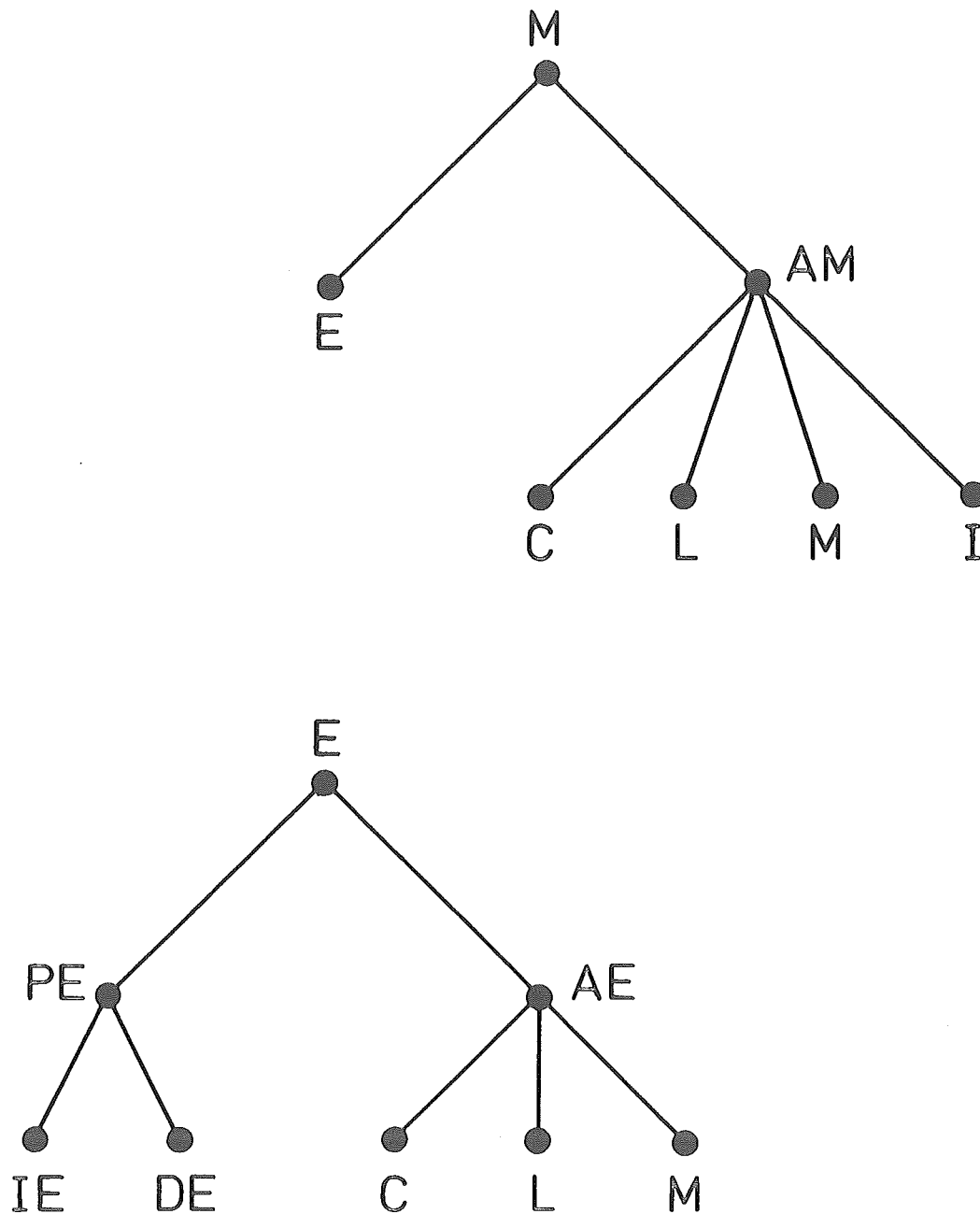
Here δ_i represents the depreciation rate of the i th capital stock, η_i represents the ratio of the gross new investment to the old capital stock and ϑ_i the corresponding quantity for the upgraded capital stock. The denominator in (2.3) becomes evident when we write down the recurrence relation for the capital stocks.

$$CS_i(t) = (1 - \delta_i + \eta_i) CS_i(t-1) \quad (2.4)$$

From equation (2.3) follows that the short term price elasticities are always smaller than the long-term ones. The ratio between both elasticities is responsive to the investment rate in the sense that the short run elasticities increase with increasing investment rate. The dynamic optimization of the investment rate to be described later therefore is able to capture relatively subtle feedback features.

It is common practice in empirically oriented studies to use hierarchically structured cost functions which can be interpreted as price aggregator functions. Fig. 2 gives a graphical representation of the hierarchical structure of the cost functions of the two sectors.

Fig. 2



As inputs to the M(aterial) Sector we have the final (E)nergy and the aggregate AM which is composed of C(apital), L(abour), input M(aterial) and complementary I(mports). In the E(nergy) Sector we have the two aggregates AE and PE. The first aggregate AE is similar to AM as above, except for the imports, the second aggregate represents non renewable P(rimary) E(nergy) composed of I(mported) E(nergy) and D(omestic) E(nergy) mining. On both levels constant elasticity of substitution has been assumed. On the lower level the substitution elasticity was assumed to be one which means that a Cobb Douglas type aggregator function could be used. On the higher level CES functions have been used with substitution elasticity 1/2 in the case of the M Sector and 1/4 in the case of the E Sector. The main idea behind these a priori estimates for substitution elasticities is that the substitution between the factors Capital, Labour, and Material follows the "law of economics" that the cost shares of these factors keep relatively constant which is in quite good agreement with many econometric studies, whereas the substitution of energy by other factors is relatively difficult because of underlying physical laws. This applies to the substitution of non renewable primary energy carriers by either renewable sources or efficiency increases on the one hand and to the substitution of final energy by the aggregate AM in general production. The explicit form of the unit cost functions is

$$C_M = \left\{ \xi_M \left(\frac{C_{AM}}{\alpha_M} \right)^{(1-\sigma_M)} + \epsilon_m \left(\frac{P_E}{\alpha_m} \right)^{(1-\sigma_M)} \right\}^{1/(1-\sigma_M)}$$

$$C_{AM} = \frac{\beta_H}{P_H} \frac{\beta_C}{P_C} \frac{\beta_F}{P_F} \frac{(1-\beta_H-\beta_C-\beta_F)}{P_M}$$

$$C_E = \left\{ \xi_E \left(\frac{C_{AE}}{\alpha_E} \right)^{(1-\alpha_E)} + \epsilon_E \left(\frac{C_{PE}}{\alpha_E} \right)^{(1-\alpha_E)} \right\}^{1/(1-\alpha_E)}$$

$$C_{AE} = P_H^{\gamma_H} P_C^{\gamma_C} P_M^{(1-\gamma_H-\gamma_C)}$$

$$C_{PE} = P_{EE}^{\zeta_E} P_{FE}^{(1-\zeta_E)}$$

α_E α_M are factors describing Hicks neutral technical progress. They are set to one in the base year and are assumed to increase by 1 %o each year. All other parameters of the cost functions are determined uniquely by the requirement that the statistical data are met in the base year. It is assumed that in the base year the economy was in a long-term equilibrium in the sense that the whole capital stock was operating with optimal factor demands corresponding to the price system of the base year.

Whereas the type of investments is determined endogenously via the innovation possibility function, the amount of investments is exogenous on this level of the model (The investment rates will be the decision variables of the highest level dynamic control problem.) Treating the investment rates as independent variables means that we have an additional balance equation for each industrial sector relating the changes of net credits Z_{SE} , Z_{SM} to the capital rents Z_{cj} , the incomes by ownership of capital Z_{pj} and the annual gross investments Z_{Ij}

$$Z_{Sj} = Z_{cj} - Z_{pj} - Z_{Ij} \quad (j = E, M)$$

The interests on industrial credits are assumed to be included in the capital income. The capital income is assumed to be a fixed portion of the capital rent, taken from the base year data.

The prices of the two commodities are not identical to the cost functions but are derived from the average I - O coefficients by adding the cost shares for each factor. Because of the interindustry transactions this requires the inversion of the Leontief matrix.

$$\begin{aligned} \text{or} \quad P_j &= \sum_k a_{kj} P_k + \sum_i a_{ij} P_i & (j, k = E, M) \\ P_j &= \sum_k [1 - A]_{kj}^{-1} \sum_i a_{ik} P_i & (i = H, G, F, C) \end{aligned}$$

Here $A = (a_{kj})$ means the quadratic I-O matrix of interindustry transactions and a_{GE} and a_{GM} represent the tax shares in the two product prices.

The overall inflation index PP is a weighted average of the sectoral price indices P_j with $j = E, M$.

3. The Private Households Sector

Following standard neo-classical theory the behaviour of the households is described as the utility maximizing immediate response to changes in income, interest rate and relative prices. According to the high level of aggregation chosen in this model we want to assume that the aggregated behaviour of all households can be described by one single utility function characterizing the typical or average consumer. The decision variables of this household are assumed to be the consumption levels of the three commodities: energy, materials and competitive imports, as described in the preceding section. The rest of the net income is saving. (compare fig. 5 column H). As sources of the income (appearing in row H of fig. 5) the model distinguishes: labour income from the two production sectors, transfers from government and profits from production. In addition the interests on the net savings stock have to be included. Since interests on credits to industry are combined with the profits, only interests on net credits to the government and foreigners will appear as ZRH in table 1.

The allocation of the net income to the consumption of the three commodities and the spending-savings ratio was assumed to be determined by an additive utility function which means that the utility of every single item is independent of the consumption levels of the others. This has the consequence that complementarity between different demands cannot be treated by the model. The separability of the utility function turned out to be a relatively weak assumption especially in view to the complementarity between energy demand and the demand for durable goods.

Assuming a Bernoulli type utility function for each single commodity as well as for saving, the overall utility function of the households gets the form

$$U(Y_{EH}, Y_{MH}, Y_{FH}, Y_{SH}) = \sum_{j=E,M,F,S} \alpha_j \ln(Y_{jH} - Y_{j0})$$

This is the well known Stone-Geary utility function leading to the so-called extended Linear Expenditure System (LES). /23/ Y_{EH} , Y_{MH} , Y_{FH} describe the consumption levels and Y_{EO} , Y_{MO} , Y_{FO} the corresponding indispensibilities of the three commodities, the latter ones acting as lower bounds to the former ones.

χ_E , χ_U , χ_F , χ_S are constants to be determined by the base year budget shares as found in the statistics (see chapter 5).

Y_{SH} and Y_{SO} have no direct economic meaning but $P_S \cdot Y_{SH}$ represents the budget share to be saved. Y_{SO} will be eliminated later on by imposing the additional constraint that the savings vanish for a minimal interest rate ITR_M . The imaginary price for savings, P_S , is directly related to the interest rate ITR

$$P_S = (ITR_O / ITR)^{\alpha_4}$$

where ITR_O represents the interest rate in the base year and α_4 a phenomenological coupling constant relating savings to the interest rate (compare also equation 3.3). The value of α_4 was set to 0.25. The maximization of the Stone-Geary utility function under the constraint of given net income B leads to the extended linear expenditure system /23/

$$Z_{jH} = P_j Y_{j0} + \chi_j (B - \sum_{i=E,M,F,S} P_i Y_{i0}) \quad (3.1)$$

for $(j = E, M, F, S)$

with $\sum_{i=E,M,F,S} \chi_i = 1$

For the elimination of Y_{SO} we make use of an assumption from the neo-classical theory of capital. Y_{SO} is determined by the condition that Z_{SH} vanishes for $ITR = ITR_M$, where ITR_M represents a lower limit to the interest rate for which the

average tendency to save vanishes. ITR_M reflects a basic time preference in consumption. It is set to 1 % p.a. Imposing this condition on (3.1) yields

$$P_s \cdot Y_{s0} = - \frac{\chi_s}{1 - \chi_s} \left(B - \sum_{i=E, M, F, S} P_i Y_{i0} \right) \left(\frac{ITR_M}{ITR} \right)^{\alpha_4} \quad (3.2)$$

The "indispensability for saving" turns out to be negative. This means that the inclusion of the saving into the budget allocation has the effect of increasing the free budget which is obtained from the budget B by subtraction of the "total commitments". An important consequence of equation (3.2) is that a decrease of the interest rate has the effect of increasing the free budget for the 3 commodities. Using equation (3.2) ZSH can be written as

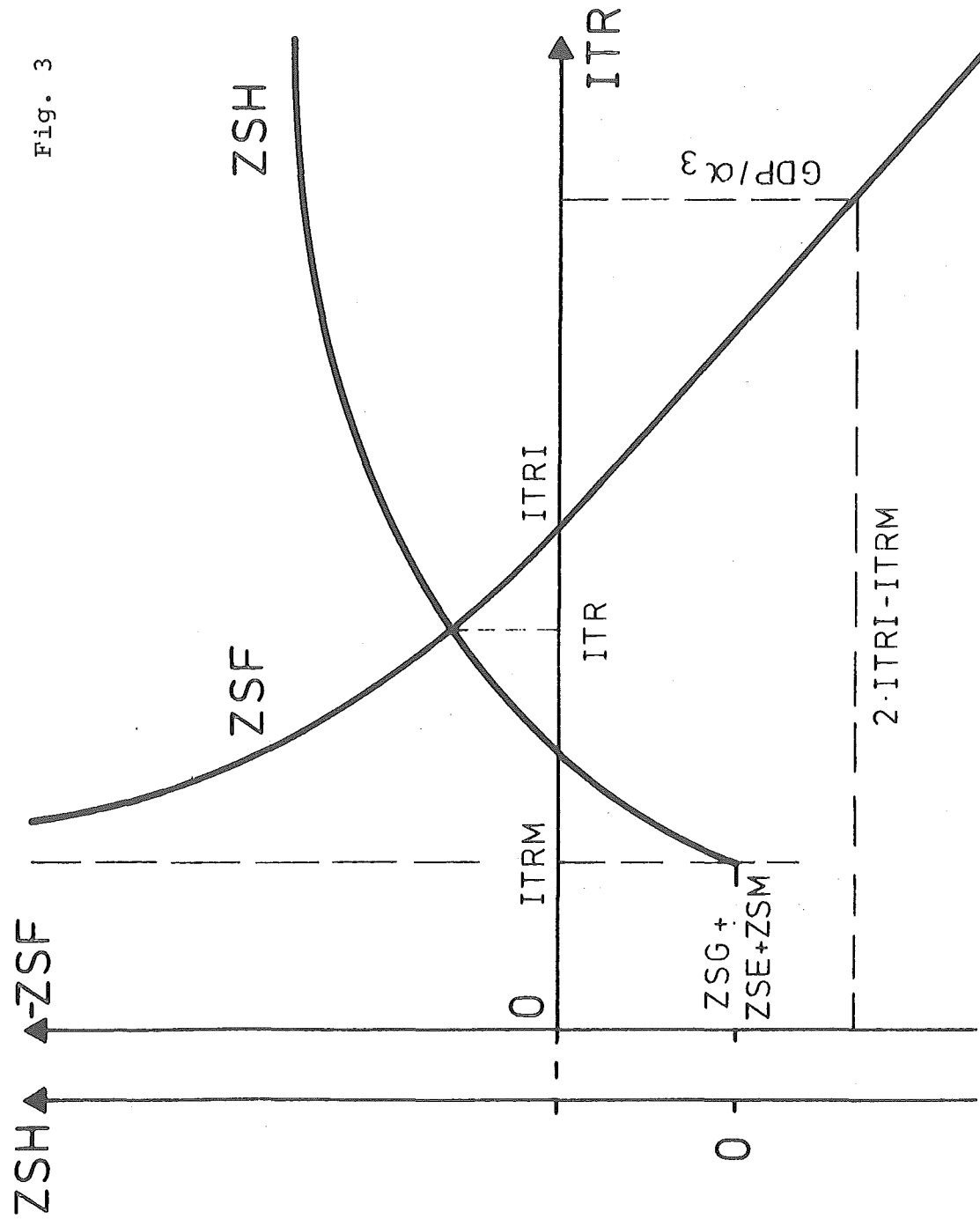
$$Z_{SH} = \left(1 - \left(\frac{ITR_M}{ITR} \right)^{\alpha_4} \right) \chi_s \left(B - \sum_{i=E, M, F} P_i Y_{i0} \right) \quad (3.3)$$

Fig. 3 gives a qualitative representation of ZSH as a function of the interest rate ITR.

Combining (3.1) and (3.2) we get as demands for the three commodities

$$Y_{jH} = Y_{j0} + \chi_j \left(1 + \frac{\chi_s}{1 - \chi_s} \left(\frac{ITR_M}{ITR} \right)^{\alpha_4} \right) \cdot \left(B - \sum_{i=E, M, F} P_i Y_{i0} \right) / P_j \quad (3.4)$$

($j = E, M, F$)



The budget allocation of the extended Linear Expenditure System formulated in (3.3) and (3.4) can be understood as a three steps process. First there is the allocation of the fixed quantities Y_{EO} , Y_{MO} , Y_{FO} irrespective of any prices or interests (so long as this is feasible within budget B). In the second step savings are determined proportional to the rest, the factor being dependent on the interest rate. In the third step the ultimate rest (after subtraction of commitments and savings) is allocated among the consumption goods according to constant cost shares.

For the determination of the constants χ_j ($j = E, M, F, S$) the equations (3.3) and (3.4) are specified for the base year and solved for χ_j . It should be noted that the interest rate ITR_0 of the base year enters the definition of the χ_j . Since ITR_0 is derived from the balance condition on the savings-credit market, the determination of the χ_j becomes part of the equilibration in the base year.

The utility function used in this study can be classified as a Stone-Geary function with price and interest dependent "indispensability for saving". To avoid unrealistic results for the energy demand because of neglecting the complementarity between energy and durable goods, the indispensability for energy had to be made time dependent. (see fig. 10). The commitment to complementary imports was assumed to be zero. The commitment to materials was assumed to be about 25 % of the consumption in the base year.

Whereas the Stone-Geary utility function is not able to describe different complementarities between goods, it is able to capture different income elasticities. The income elasticity of imports is the highest, the one of energy the lowest.

4. Interactions with the World Economy

Because of its high export share in the GDP the development of the German economy is decisively dependent on the evolution of other national economies. The model to be described here has therefore been formulated as an open economy model with open product and credit markets. The different interactions with the world economy treated in the model are listed in figures 5 and 6. Whereas the export flows in column F are directly subject to decisions taken in the foreign sector, the import flows of row F are only indirectly influenced by the foreign sector via the import prices. The import prices (PF, PFE) result from the average inflation in the world economy (given as PI in fig. 9) and from the average exchange rate (WK) of the DM against other currencies. Both averages should be taken according to the relative contribution to the balance of goods and services.

$$(PF = PI/WK)$$

Among the variables representing the boundary conditions of the national economy with respect to the world economy we have to distinguish between those variables which can be thought of as being independent from decisions within the national economy because of the relative size of the German economy and those variables which are responsive to the equilibration process within the national economy irrespective of its size. The first ones can be treated as exogenous variables (see fig. 9), the latter ones have to be endogenous since they depend on other endogenous variables. The most important variables of the latter type are the exports responding e.g. to the national inflation rate, the net savings or debts of foreigners responding e.g. to the real interest rate and the exchange rate responding e.g. to the balance of goods and services.

It would be desirable to have a derivation of these behavioural relations from optimization principles as in the case of the production and the households sectors, but within the scope of this study we have to rely on simple phenomenological equations for describing the dependencies between these variables.

It should be further noted that this model is exclusively able to capture economical mechanisms and not political ones. Especially when looking at short term effects political influences can become more important for the conditions of foreign trade than economic ones. The only way to cope with political effects is by scenario writing, where much care has to be taken to capture the important covariances between exogenous variables. Our political scenario assumptions can best be described as political status quo ones.

Within this scenario the exports of energy consisting of high quality coke for steelmaking purposes are held constant in real terms. The exports of material (all other goods and services) are assumed to depend on the index of the world trade volume WHV on the one hand and the ratio of the average import price index PF to the price index PM on the other.

$$Y_{MF} = Y_{MFO} (PF/PM)^{\alpha_1} \cdot (WHV/WHVO)^{\alpha_2} \quad (4.1)$$

Assuming that the world trade volume raises mainly by an increase in the number of traders, we set $\alpha_2 = 0.5$. For the constant price elasticities of the exports we assume $\alpha_1 = 0.5$ which means that the exports are relatively inelastic with respect to the domestic price level, a feature typical for highly specialized investment goods. The world trade volume is given as exogenous time series increasing by a factor of 4.4 between 1972 and 2000 (see fig. 9).

When looking for endogenous variables which might appear as explaining variables for the exchange rate and the net credits to or from foreigners we have to distinguish between stock or state variables connected to long-term equilibrium and other variables like flow variables, prices or interest rates which are connected to the short-term equilibrium. To keep the model open for different long-term strategies we restrict the dependencies to variables determined by short-term equilibrium alone.

Keeping this in mind one may be lead to the following equation for the net savings ($Z_{SF} > 0$) or debts ($Z_{SF} < 0$) of foreigners as a function of the domestic real interest rate ITR

$$Z_{SF} = \frac{GDP}{\alpha_3} \frac{ITR - ITRI}{\text{Min}(ITR, ITRI) - ITR_M} \quad (4.2)$$

which is shown qualitatively in fig. 3. Here ITRI is the real interest rate for which foreign credits to and loans from the FRG level out. In a first approximation this interest rate can be identified with the average real interest rate for international credits (see fig. 9). ITRM is the minimal real interest rate representing the basic time preference of the consumers as used in the preceding chapter. α_3 represents the quote of the GDP which foreign savers are willing to give as net credits to the FRG at a real interest rate of $2 ITRI - ITRM$. (α_3 was taken to be 50)

As can be seen from fig. 3 the domestic interest rate ITR is determined from the equilibrium on the credit market which is characterized by the condition that the sum of all savings vanishes (credits = negative savings). To be able to use the Gauss-Seidel iteration scheme for the determination of the equilibrium interest rate we invert equation (4.2):

$$ITR = ITRI + (ITRM - ITRI) \frac{Z_{SF}}{\text{Min}(0, Z_{SF}) - GDP/\alpha_3} \quad (4.3)$$

A consequence from the accounting within the foreign sector is that the balance of goods and services equals $-Z_{SF}$. Keeping this in mind the following equations for the exchange rate WK seem plausible

$$DWK = DPI - DPD + DWK1 (ITRI - ITR) \quad (4.4)$$

$$WK_{(t)} = WK_{(t-1)} (1 + DWK) \quad (4.5)$$

where DPI and DPD represent the international and domestic inflation rates. For $DWK1 = 0$ we get an exchange rate which corresponds to parity of purchasing power, with $DWK1 > 0$ the currency of the country with a positive balance of goods and services gets a higher purchasing power than the average world currency. Equation (4.4) can be rewritten in a different form

$$\begin{aligned} ITR + DPD + DWK - ITRI - DPI \\ = (1-DWK1) (ITR - ITRI) \end{aligned}$$

The left side can be interpreted as the difference of the nominal interest rates which a foreign saver would realize by alternatively offering his money to a german bank or a foreign bank. Requiring that the sign of this difference is in agreement with the sign of ZSF we get a further condition for $DWK1$

$$0 < DWK1 < 1$$

The parameter $DWK1$ determines whether an imbalance in the foreign sector account is more easily resolved by a change in purchasing power or by a change in the effective interest for foreign savers. Since the credit market can be assumed to be more flexible than the market of goods and services we can assume $DWK1$ closer to 1 than to 0. (For our scenarios we took $DWK1 = 0.5$).

5. The General Accounting and Equilibration Scheme

In addition to the behavioural and budgeting relations within each sector of the economy, balance equations for the flows between the sectors have to be set up. There are:

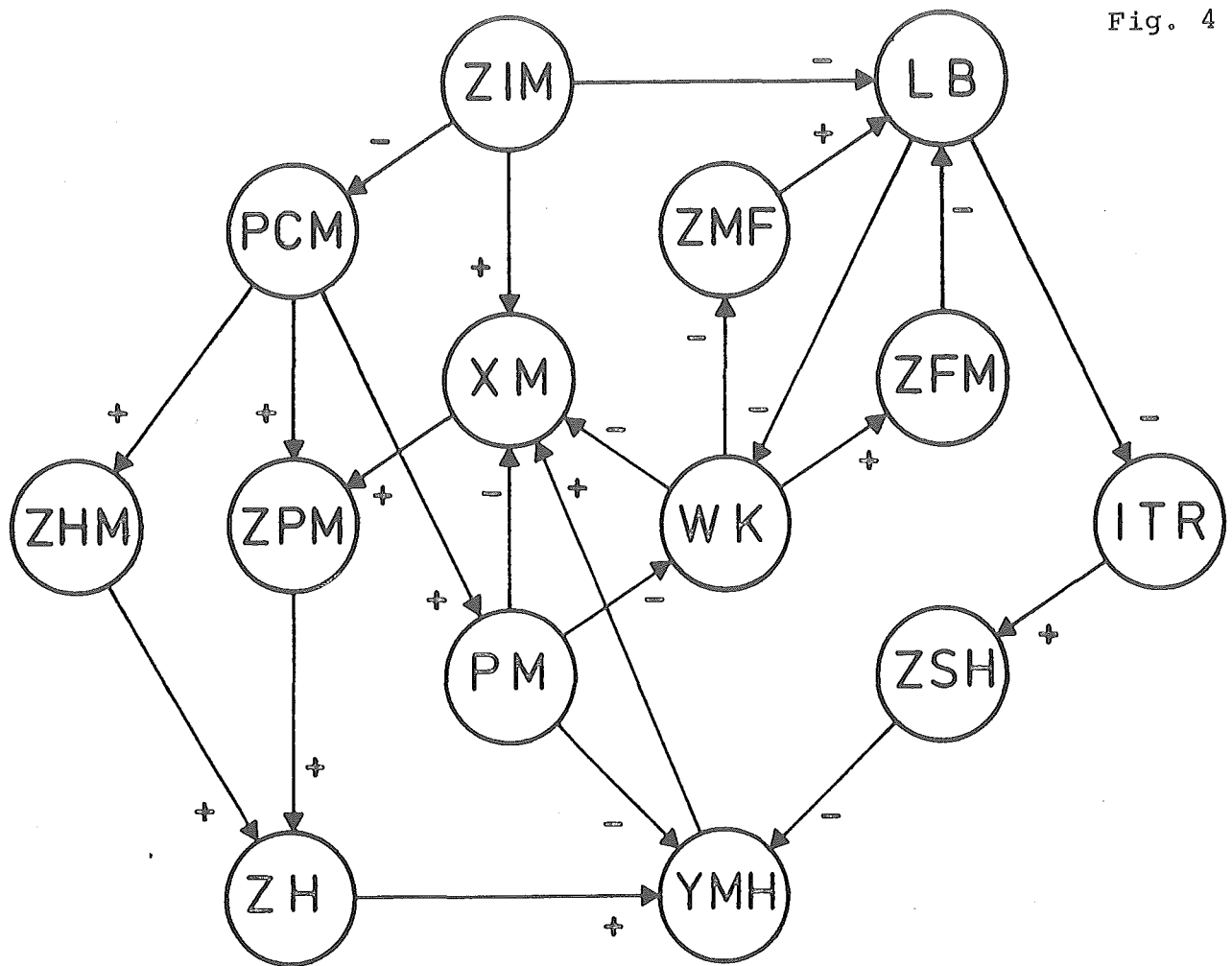
- the two physical flow balance equations for the two commodities (energy and other goods and services) equating production and consumption,
- the five monetary flow balance equations equating income, expenditures, and savings of the private households, the government, the foreign sector, and the two domestic sectors of the economy.

The monetary balance of the two production sectors is achieved by adjusting the commodity prices as described in chapter 2. Two further balances exist for the sum of savings and credits (treated as negative savings) as well as for the interests on savings and credits. The differences between the latter as they occur in reality are accounted as part of the services from the M-sector, and interests on credits to the production sectors are included in the redistributed profits.

Together with two further balance equations for profits and gross investments the whole accounting system can be visualized by arranging the corresponding flows in matrix form. This yields the so-called Social Accounting Matrix or SAM /16/, which is especially useful for open economies like e.g. many of the developing countries. Moreover this measure increases the transparency of the model and has proven to be a useful tool for error diagnosis during the phase of constructing and testing the model.

All balance equations together with the behavioural relations (see chapters 2 to 4) define the short-term equilibrium of the model. The long-term equilibrium depends on the substitution elasticities within the innovation possibility functions (putty-clay mechanism) as well as on the investment decisions. How the investments of the M-sector influence the short-term feedback loops is demonstrated in fig. 4, which only contains the most important items, however.

Fig. 4



Symbols used:

ZIM	gross investments in the M-sector
LB	balance of goods and services
PCM	price for capital use in the M-sector
ZMF	exports of the M-sector
XM	real gross production of the M-sector
ZFM	imports of the M-sector
ZHM	wages in the M-sector
ZPM	capital income from the M-sector
WK	exchange rate
ITR	interest rate
PM	price for commodities from the M-sector
ZSH	net savings of the private households
ZH	gross income of the private households
YMH	real final consumption (non-energy) of the private households

The Social Accounting Matrix (SAM) is an enlarged input-output table balancing at every time period the income sources and the expenditures of all operating agents (fig. 5).

The operating agents being

- E the national energy industry
- M all other national economic sectors (called materials)
- H the private households (inlanders)
- G the national government
- F the foreign economies

there is 5 x 5 submatrix forming the upper left part of the SAM. Quantities are flowing from a row to a column whereas monetary flows have just the opposite direction. For instance:

- ZHM is the labour force given from the private households (H) to the non-energy sectors of the national economy (M); on the other hand it is the wages earned by private households (H) working in sector M.
- The interindustrial flows are represented by the four elements ZEE, ZEM, ZME, and ZMM where the diagonal elements represent the deliveries from one enterprise to the other within the sector itself.
- The general element, if used in the following will be called Z_{ij} and is measured in 10^9 DM/year.

The additional rows and columns have the following meanings:

- P profits, which means that part of the capital rent which is not reinvested but given to the owners of shares
- I gross investments (depreciations plus net investments)
- S net savings (positive) or debts (negative)
- R interests on savings/debts

Fig. 5

SAM table 1: nominal values

z_{ij}	E	M	H	G	F	P	I	
E	ZEE	ZEM	ZEH	ZEG	ZEF			ZE
M	ZME	ZMM	ZMH	ZMG	ZMF		ZMI	ZM
H	ZHE	ZHM		ZHG		ZHP		ZH
G	ZGE	ZGM	ZGH		ZGF	ZGP		ZG
F	ZFE	ZFM	ZFH	ZFG		ZFP	ZFI	ZF
(C)	ZCE	ZCM						
P	ZPE	ZPM			ZPF			ZP
I	ZIE	ZIM						ZI
-R			ZRH	ZRG	ZRF			ZR=0
S	ZSE	ZSM	ZSH	ZSG	ZSF			ZS=0
	ZE	ZM	ZH	ZG	ZF	ZP	ZI	
SAC	SACE	SACM	SACH	SACG	SACF			
CS	CSE	CSM						
A	ZAE	ZAM						

(these are booked as a row with negative sign; in the columns P and R are booked together, thus representing the total income from invested and non-invested capital)

- Z the sum of a row and its corresponding column (gross production)

$$Z_i = \sum_j Z_{ij}; \quad Z_j = \sum_i Z_{ij},$$

- C an intermediate row defined as

$$C_j = Z_j - (Z_{Ej} + Z_{Mj} + Z_{Hj} + Z_{Gj} + Z_{Fj}),$$

thus representing the total capital rent.

For the sake of clarity a complete verbal description of every non-zero item Z_{ij} is given below.

Symbols used:

ZEE	indigenous primary energy production
ZEM	final energy consumption of the M-sector
ZEH	final energy consumption of the private households
ZEG	final energy consumption of the government
ZEF	energy exports
ZME	material inputs into the E-sector
ZMM	material inputs into the M-sector
ZMH	non-energy final consumption of the private households
ZMG	non-energy final consumption of the government
ZMF	non-energy exports
ZMI	investment goods produced by the M-sector
ZHE	wages paid by the E-sector
ZHM	wages paid by the M-sector
ZHG	wages paid by the government
ZHP	capital income of the private households
ZGE	taxes paid by the E-sector
ZGM	taxes paid by the M-sector
ZGH	wages tax
ZGF	customs
ZGP	capital income tax
ZFE	energy imports
ZFM	other industrial imports
ZFH	private imports incl. travel expenditures and gifts
ZFG	government expenditures for international organizations
ZFP	capital income of foreign investors
ZFI	imports of investment goods incl. licenses
ZPE	capital income from the E-sector
ZPM	capital income from the M-sector
ZPF	capital income from foreign countries
ZIE	gross investments in the E-sector
ZIM	gross investments in the M-sector
ZRH	interests from net savings (positive) or on net debts (negative) of the private households
ZRG	interests from net savings (positive) or on net debts (negative) of the government
ZRF	interests from net savings (positive) or on net debts (negative) of foreign countries

ZSE	net credits (negative) of the E-sector
ZSM	net credits of the M-sector
ZSH	net savings (positive) or credits (negative) of the private households
ZSG	net savings (positive) or credits (negative) of the government
ZSF	net savings (positive) or credits (negative) of the foreign countries
ZE	gross production of sector E
ZM	gross production of sector M
ZH	gross income of the private households
ZG	gross income of the government
ZF	sum of transfers from/to foreign countries
ZP	sum of earnings from capital ownership
ZI	sum of investments
ZR	sum of interests income/expenditures (ZR=0)
ZS	sum of net savings/debts (ZS=0)

Three more rows at the bottom of fig. 5 contain the following items:

- SAC_j the actual net savings/debts stocks (at the end of each time period)
- CS_j the actual capital stocks (at the end of each time period)
- A_j the depreciations (the net investments of a sector thus may be recalculated by the difference between the gross investments and the depreciations)

Besides the table for the nominal values Z_{ij} (with dimension 10^9 DM/year) a second table (fig. 6) is used for displaying the real quantities, or better: the quantities measured in constant prices of the starting time period, for which the year 1972 was taken. The elements of that table are defined by

$$\begin{aligned}
 - Y_{ij} &= Z_{ij}/P_{ij} \\
 - X_i &= Z_i/P_i, \text{ or } X_j = \sum_i Y_{ij} \quad .
 \end{aligned}$$

SAM table 2: real values

Fig. 6

Y_{ij}	E	M	H	G	F	P	I	\sum
E	YEE	YEM	YEH	<div>▣▣▣▣▣ ▣ YEG ▣ ▣▣▣▣▣</div>	<div>▣▣▣▣▣ ▣ YEF ▣ ▣▣▣▣▣</div>			XE
M	YME	YMM	YMH	<div>▣▣▣▣▣ ▣ YMG ▣ ▣▣▣▣▣</div>	YMF		YMI	XM
H	YHE	YHM		<div>▣▣▣▣▣ ▣ YHG ▣ ▣▣▣▣▣</div>		YHP		XH
G	YGE	YGM	YGH		YGF	YGP		XG
F	YFE	YFM	YFH	<div>▣▣▣▣▣ ▣ YFG ▣ ▣▣▣▣▣</div>		YFP	YFI	XF
(C)	YCE	YCM						
P	YPE	YPM			YPF			XP
I	YIE	YIM						XI
-R			YRH	YRG	YRF			XR=0
S	YSE	YSM	YSH	YSG	YSF			XS=0
\sum	XE	XM	XH	XG	XF	XP	XI	

▣▣▣

 items are held constant over time

▣▣▣▣▣

 items are given by exogenous time series

All prices used in the model are price indices only, so they have the value 1 for the base year 1972. This special time period was chosen because at that time nobody anticipated the oil price increases and the economic indices may be seen as near-equilibrium ones. In most cases the prices within a row, i.e. the price of the corresponding unique commodity, are taken to be equal for all columns:

$$P_{ij} = Z_{ij}/Y_{ij} = P_i \quad V_j$$

- PE price of energy
- PM price of other commodities
- PH price of labour force
- PF price of imports
 - PF = PI/WK
 - PI = price in foreign currency
 - WK = exchange ratio
 - WK = 1 for 1972
- PC price for the use of capital

Only with respect to energy and capital price differentiation is partially taken into account:

- PEE price of indigenously produced primary energy
- PFE price of imported energy
- PCE price of capital in the energy sector
- PCM price of capital in the materials sector

The third SAM table (fig. 7) shows those I-0-coefficients which are used for the model formulation. The following definition holds:

$$Z_{ij} = P_{ij} \quad Y_{ij} = P_{ij} \quad a_{ij} \quad X_j$$

For row G, the income side of the government, taxes and customs coefficients (TAXE, TAXM, TAXH, TAXP, CSTE, CSTM) are used instead of I-0 coefficients, because they are not seen as price dependent, but may be set by optimization on the highest hierarchical level.

Besides the actual coefficients a_{ij} this table also lists the long-term equilibrium ones b_{ij} which may be different from the first.

SAM table 3: I-0 coefficients

Fig. 7

A_{ij}	E	M	H
E	AEE	AEM	AEH
M	AME	AMM	AMH
H	AHE	AHM	
G	TAXE	TAXM	TAXH
F	AFE	AFM	AFH
C/S	ACE	ACM	ASH

B_{ij}	E	M	H
E	BEE	BEM	BEH
M	BME	BMM	BMH
H	BHE	BHM	
G	TAXE	TAXM	TAXH
F	BFE	BFM	BFH
C/S	BCE	BCM	BSH

For the base year 1972 fig. 8 presents a complete set of all SAM-tables with actual values as found in the statistics /17, 18, 19, 20, 21/.

Some additional remarks have to be made with respect to those transactions within the national economy which were neglected.

- Social redistribution via the government and common insurances is neglected.
- The government is not handled as an entrepreneur, so it does not own a capital stock and does not make investments; the latter are treated as final consumption.

Fig. 8

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1972. 2862.0

ZIJ	E	M	H	G	F	PR	I	SUM	
E	23.0	37.0	25.0	3.0	5.0	0.0	0.0	93.0	E 0.0
M	17.0	579.0	382.0	108.0	166.0	0.0	153.0	1405.0	M 0.0
H	13.0	342.0	0.0	81.0	0.0	157.0	0.0	593.0	H 0.0
G	15.0	71.0	86.0	0.0	21.0	11.0	0.0	204.0	G 0.0
F	14.0	102.0	44.0	6.0	0.0	14.0	26.0	206.0	F 0.0
C	11.0	274.0	56.0	6.0	14.0	0.0	0.0	361.0	C 0.0
P	7.0	164.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	182.0	P 0.0
I	11.0	168.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	179.0	I 0.0
-R	0.0	0.0	15.0	-10.0	-5.0	0.0	0.0	0.0	-R 0.0
S	-7.0	-58.0	71.0	-4.0	-2.0	0.0	0.0	0.0	S 0.0
SUM	93.0	1405.0	593.0	204.0	206.0	182.0	179.0	2862.0	SUM
	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	0.0		
SAC	0.0	0.0	234.0	-156.0	-78.0	0.0	0.0	0.0	SAC
CS	180.0	1620.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1800.0	CS
A	6.0	76.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	82.1	A 0.0

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1972.

YIJ	E	M	H	G	F	PR	I	XI	
E	23.0	37.0	25.0	3.0	5.0	0.0	0.0	93.0	E
M	17.0	579.0	382.0	108.0	166.0	0.0	153.0	1405.0	M
H	13.0	342.0	0.0	81.0	0.0	157.0	0.0	593.0	H
G	15.0	71.0	86.0	0.0	21.0	11.0	0.0	204.0	G
F	14.0	102.0	44.0	6.0	0.0	14.0	26.0	206.0	F
C	11.0	274.0	56.0	6.0	14.0	0.0	0.0	361.0	C
P	7.0	164.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	182.0	P
I	11.0	168.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	179.0	I
-R	0.0	0.0	15.0	-10.0	-5.0	0.0	0.0	0.0	-R
S	-7.0	-58.0	71.0	-4.0	-2.0	0.0	0.0	0.0	S
XJ	93.0	1405.0	593.0	204.0	206.0	182.0	179.0		

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1972.

AIJ	E	M	H	BIJ	E	M	H	
E	0.2473	0.0263	0.0411	E	0.2473	0.0263	0.0411	E
M	0.1828	0.4121	0.6283	M	0.1828	0.4121	0.6283	M
H	0.1398	0.2434	0.0000	H	0.1398	0.2434	0.0000	H
G	0.1613	0.0505	0.1414	G	0.1613	0.0505	0.1414	G
F	0.1505	0.0726	0.0724	F	0.1505	0.0726	0.0724	F
C,S	0.1183	0.1950	0.1168	C,S	0.1183	0.1950	0.1168	C,S
SUM	1.0000	1.0000	1.0000	SUM	1.0000	1.0000	1.0000	SUM

- With respect to inlanders' capital shares in foreign countries and foreigners' capital shares in Germany a status-quo is assumed. All future transactions are handled within the savings/debts category.
- The capital stock of the private households (e.g. ownership of ground and houses and other durable goods) is neglected. Their investments are treated as final consumption.

The following items are calculated from the base year SAM and are held constant over time:

TAXE	energy production tax	
TAXE	= ZGE/ZE	0.1613
TAXM	non-energy production tax	
TAXM	= ZGM/ZM	0.05053
TAXH	wages tax	
TAXH	= ZGH/ZH	0.1414
TAXP	capital income tax	
TAXP	= ZGP/ZP	0.06044
CSTE	energy import customs share	
CSTE	= ZGF_E/YFE	0.0
CSTM	non-energy import customs share	
CSTM	= ZGF_M/YFM	0.2059
PRRE	capital rent redistribution share in the E-sector	
PRRE	= ZPE/ZCE	0.6364
PRRM	capital rent redistribution share in the M-sector	
PRRM	= ZPM/ZCM	0.5985
PRRPF	capital income share from foreign countries	
PRRPF	= ZPF/ZCM	0.04015
PRRFP	foreigners' capital income share	
PRRFP	= ZFP/ZP	0.07692
IVFS	investments share from foreign countries	
IVFS	= ZFI/ZI	0.1453
DPRE	depreciation rate in the E-sector	
DPRE	= $ZAE/(CSE * PM)$	0.0333
DPRM	depreciation rate in the M-sector	
DPRM	= $ZAM/(CSM * PM)$	0.0470

The load factors used, are defined as follows:

LFH load factor of labour force

$$LFH = LFH0 \cdot \frac{(YHE + YHM + YHG)_t}{(YHE + YHM + YHG)_{1972}} \cdot \frac{NL_{1972}}{NL_t}$$

$$LFH0 = 0.99$$

$$NL_{1972} = 26.6 \cdot 10^6 \text{ cap (number of employees)}$$

LFEE load factor of indigenous mining

$$LFEE = LFEE0 \cdot \frac{YEE_t}{YEE_{1972}} \cdot \frac{CSEE_{1972}}{CSEE_t}$$

$$LFEE0 = 0.85$$

$$CSEE_{1972} = 150 \cdot 10^6 \text{ TCE/y (maximum mining capacity)}$$

LFCi load factor of capital in the energy sector (i=E)
in the materials sector (i=M)

$$LFCi = LFCi0 \cdot \frac{YCi_t}{YCi_{1972}} \cdot \frac{CSi_{1972}}{CSi_t}$$

$$LFCi0 = 0.97 \text{ for } i = E, M$$

$$CSE_{1972} = 180 \cdot 10^9 \text{ DM capital stocks}$$

$$CSM_{1972} = 1620 \cdot 10^9 \text{ DM}$$

Only very few time series for exogenous items are used:

- WHV world trade volume
- ITRI foreign interest rate (real)
- PI average inflation index in foreign countries
- RPFE price differentiation between energy and other imports
- PH wages index
- YMG governments' non-energy final consumption (real)
- YHG wages paid by the government (real)

- E0 indispensable energy consumption of the private households
- CSEE indigenous mining capacity (energy)
- NL labour force capacity (manyyears/year)

The following two tables (fig. 9 and fig. 10) show the corresponding values between 1972 and 2000.

Fig. 9

NAME	(INDEX)	DEFINITION	UNITS
WHV	=	WORLD TRADE VOLUME	Bil. DM/Y
ITRI	=	FOREIGN INTEREST RATE (REAL)	1/Y
PI	=	FOREIGN PRICE INDEX (FOREIGN CURRENCY)	1
RPFE	=	ADD. PRICE INCREASE FOR IMPORTED ENERGY	1
PH	=	WAGES INDEX	1

TIME	WHV	ITRI	PI	RPFE	PH
	E 0	E 0	E 0	E 0	E 0
1972.00	1.360	0.040	1.000	1.000	1.000
1973.00	1.560	0.050	1.120	1.210	1.110
1974.00	2.190	0.060	1.254	2.570	1.221
1975.00	2.307	0.062	1.405	2.350	1.319
1976.00	2.425	0.065	1.570	2.510	1.421
1977.00	2.542	0.067	1.751	2.330	1.527
1978.00	2.660	0.070	1.947	2.090	1.638
1979.00	2.930	0.070	2.162	2.690	1.753
1980.00	3.200	0.070	2.389	3.610	1.849
1981.00	3.320	0.068	2.628	4.500	1.923
1982.00	3.440	0.066	2.885	4.500	2.000
1983.00	3.560	0.064	3.162	4.500	2.080
1984.00	3.680	0.062	3.459	4.500	2.163
1985.00	3.800	0.060	3.777	4.500	2.250
1986.00	3.940	0.058	4.117	4.500	2.340
1987.00	4.080	0.056	4.480	4.500	2.438
1988.00	4.220	0.054	4.865	4.500	2.545
1989.00	4.360	0.052	5.274	4.500	2.663
1990.00	4.500	0.050	5.706	4.500	2.790
1991.00	4.650	0.050	6.163	4.500	2.930
1992.00	4.800	0.050	6.650	4.500	3.076
1993.00	4.950	0.050	7.168	4.500	3.230
1994.00	5.100	0.050	7.720	4.500	3.392
1995.00	5.250	0.050	8.307	4.500	3.561
1996.00	5.400	0.050	8.930	4.500	3.739
1997.00	5.550	0.050	9.591	4.500	3.926
1998.00	5.700	0.050	10.291	4.500	4.123
1999.00	5.850	0.050	11.032	4.500	4.329
2000.00	6.000	0.050	11.815	4.500	4.545

NAME (INDEX)	DEFINITION	UNITS
YMG	= GOVERNMENT'S FINAL CONS. (NON-ENERGY)	MRD. DM72/Y
YHG	= WAGES PAID BY THE GOVERNMENT	MRD. DM72/Y
E0	= INDISPENSIBILITY EN.CONS. PRIV.HOUSEH.	MRD. DM72/Y
CSEE	= INDIGENOUS ENERGY MINING CAPACITY	MIO. TCE/Y
NL	= LABOUR FORCE CAPACITY (WORKYEARS/YEAR)	CAP

TIME	YMG	YHG	E0	CSEE	NL
	E 0	E 0	E 0	E 0	E 6
1972.00	108.0	81.00	12.500	150.0	26.60
1973.00	110.0	85.00	13.250	155.0	26.60
1974.00	120.0	90.00	14.000	160.0	26.20
1975.00	121.3	91.25	14.750	161.3	25.30
1976.00	122.5	92.50	15.500	162.5	25.00
1977.00	123.8	93.75	16.250	163.8	25.00
1978.00	125.0	95.00	17.000	165.0	25.20
1979.00	125.0	95.00	17.000	165.0	25.20
1980.00	125.0	95.00	17.000	165.0	25.20
1981.00	124.0	94.00	16.800	165.0	25.20
1982.00	123.0	93.00	16.600	165.0	25.20
1983.00	122.0	92.00	16.400	165.0	25.20
1984.00	121.0	91.00	16.200	165.0	25.20
1985.00	120.0	90.00	16.000	165.0	25.20
1986.00	120.0	90.00	15.600	165.0	25.20
1987.00	120.0	90.00	15.200	165.0	25.20
1988.00	120.0	90.00	14.800	165.0	25.20
1989.00	120.0	90.00	14.400	165.0	25.20
1990.00	120.0	90.00	14.000	165.0	25.20
1991.00	120.0	90.00	13.600	165.0	25.20
1992.00	120.0	90.00	13.200	165.0	25.20
1993.00	120.0	90.00	12.800	165.0	25.20
1994.00	120.0	90.00	12.400	165.0	25.20
1995.00	120.0	90.00	12.000	165.0	25.20
1996.00	120.0	90.00	11.600	165.0	25.20
1997.00	120.0	90.00	11.200	165.0	25.20
1998.00	120.0	90.00	10.800	165.0	25.20
1999.00	120.0	90.00	10.400	165.0	25.20
2000.00	120.0	90.00	10.000	165.0	25.20

6. First Results

The main reason for keeping the size of the model as small as possible was to enable the user to do more than writing single scenarios within a narrow corridor of "probable" developments. This model was devised as a tool for solving optimal control problems with different long-term optimization criteria. The imaginative decision maker is thought to reside at a higher level than those operating agents who minimize their costs or maximize their utility at each time period. On that higher level the most important decision variables (which are exogenous parameters to the equilibrium process on the lower level) are:

- the different kinds of taxes and customs
- the investments, which may be seen to be partially influenced by government information, regulation and subsidies.

Investment decisions of the households were not explicitly formulated within the model at this stage of its development. But the total amount of industrial investments as well as the shares of the energy sector and the rest of the economy are free for being optimized over time.

So as a first set of questions to be answered with the aid of this model long-term investment policies were taken. The decision variables thus were:

- $ZIE(t)$ the investments in the energy sector,
- $ZIM(t)$ the investments in the rest of the economy.

A first objective presents itself, namely the utility maximization of the private households.

Since investments at a specific time period have influences on the utility not only for that period but for all future periods as well, the utility maximization necessarily becomes a dynamic control problem. This means that the objectives have to be time integrals with appropriate weight functions.

Such a weight function or the corresponding so-called discount factor describes the time preferences of the decision maker. It is common use to take the time integrated real interest rate as exponent of the discount factor since it can be interpreted to represent an average time preference of the whole economy. Our highest level decision maker is assumed to have a time preference which is independent of the lower level agents. (Governments tend to base their decisions on time horizons closer to 4 years than to 10 or 20 years).

Using a constant discount rate ρ the first objective may be written as

$$\text{OBJ1} = \sum_{t=T_0}^{\infty} \rho^{t-T_0} \cdot U(t)$$

For practical reasons the infinite sum has to be cut at a finite time period $T_0 < t = T_e < \infty$. In our study we use as time horizon $T_0 = 1972$, $T_e = 2000$, and a discount rate corresponding to $\rho = 0.9$. The diminishing returns to scale are taken into account by the logarithmic type utility function $U(t)$ as used for the private households.

Finite time control problems involving stock variables have the tendency to deplete all stocks at the end of the time horizon. In this situation one can make use of the so-called turnpiking behaviour of the optimal control. Giving lower bounds to the stocks variables at the last time period, the solution of the control problem will switch off from the long-term optimal path somewhere in time in order to meet the end conditions. Here the following bounds for the capital stocks are used:

- CSE ($t = T_e = 2000$) \geq 470 Mrd DM ,
- CSM ($t = T_e = 2000$) \geq 4200 Mrd DM .

In order to arrive at comparable scenarios, we had to introduce another constraint, i.e. a dynamic lower and upper bound on the variable SACF representing the international credits stock (this stock is negative in the case of net debts of foreign economies, and positive if there are net savings of foreigners):

$$- 500 \text{ Mrd DM} \leq \text{SACF} \leq 250 \text{ Mrd DM} \quad .$$

These bounds may be seen as a measure to achieve a long-term equilibrium within the model's horizon. In reality besides the mere economic factors, as interests and exchange rates, there are political restrictions on the international credits market which cannot be modelled otherwise (except for a game-theoretic treatment).

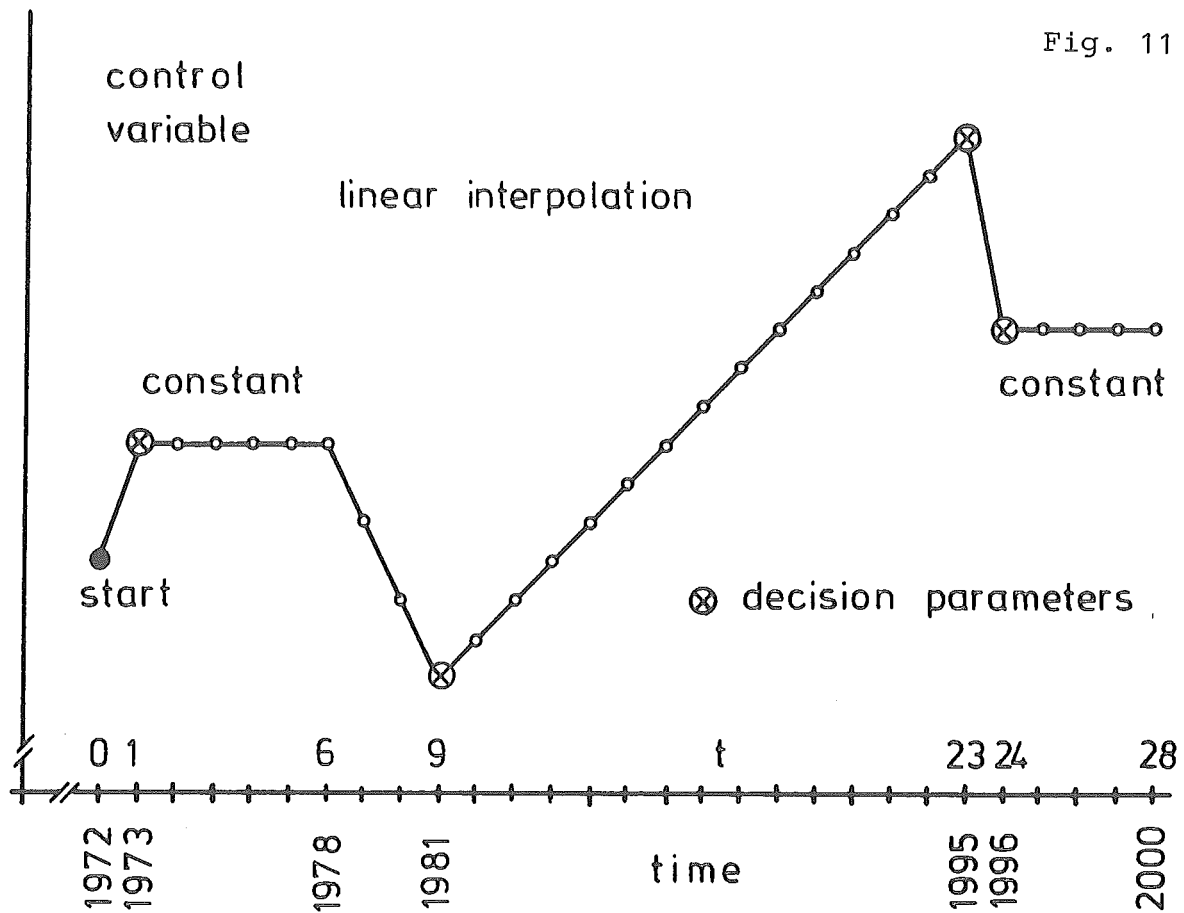
6.1. Case Study One

The second objective for the first feasibility test of the model was to minimize the energy imports. This was done by direct integration of the energy imports per year $YFE(t)$. Taking the real values YFE , not the nominal one (ZFE), has a discounting effect, which seems to be appropriate in first order. The formulation of the second objective thus may be written as

$$OBJ2 = \sum_{t=T_0}^{T_e} YFE(t)$$

Instead of weighting both non-commensurable objectives by some subjective coefficient we tried to look for the whole set of efficient solutions, i.e. a Pareto-line. Its two end points represent the single criterion optima, intermediate points those solutions, which dominate alternatives allowing simultaneous increases of both objectives. This is equivalent to saying that trying to improve the solution with respect to one of the objectives always results in worsening it with respect to the other.

In this study the optimal control problem to specify the functions $ZIE(t)$ and $ZIM(t)$ was reduced to a nonlinear parameter optimization problem. Though being inferior concerning the precision or the CPU-time to a maximum principle approach, this method has the advantage of being more flexible with respect to changes of the objectives and constraints imposed, and the model itself. In this case a time-series representation of the decision variables was used. The following schematic diagram (fig. 11) shows the degrees of freedom of the piecewise linear control variables.



Between 1973 and 1978 as well as between 1996 and 2000 the investment quotas were held constant. Thus, only four decision parameters determine one control variable over time.

Allowing investment decisions being taken from 1973 onwards, the task may be seen as an ex-post or "as if" scenario writing one. We did not want to look for those decisions which have to be taken now, but for those which could have been taken after 1973 if the two goals, long-term maximization of consumption and energy import minimization, had been the two and only two overall goals, and if the second oil price shock had been anticipated.

Instead of the nominal values $ZIE(t)$ and $ZIM(t)$ auxiliary values $IR(t)$ and $IRE(t)$ were used which determine the nominal investments via the following relations:

$$ZIE = XI_{1972} \cdot PM \cdot IR \cdot IRE$$

$$ZIM = XI_{1972} \cdot PM \cdot IR \cdot (1 - IRE)$$

Whether this kind of parameterization is the best one is doubtful, but could not be investigated in detail. Other generating formulae might reduce the computing time, but should not alter the results.

Fig. 12

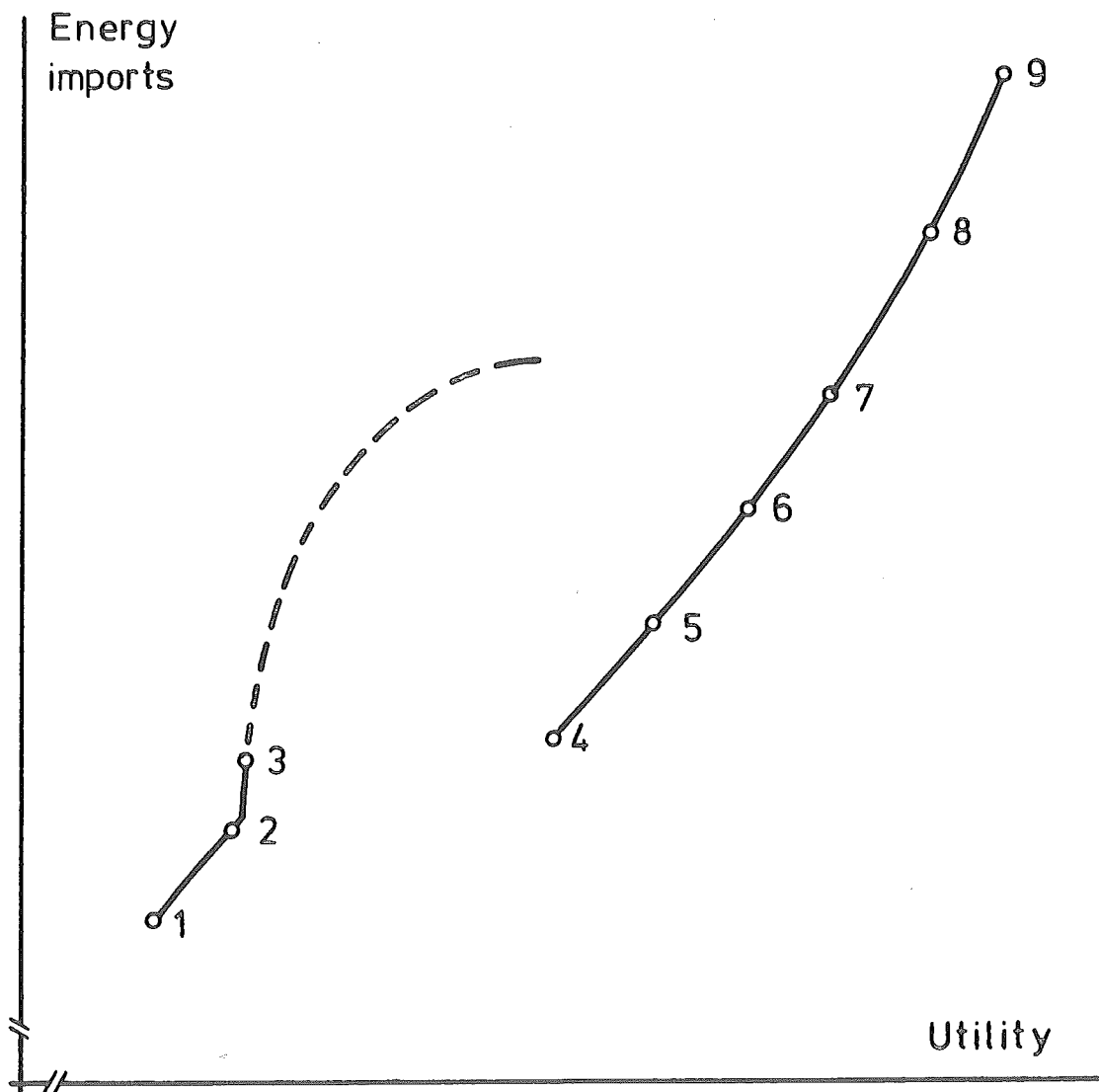


Fig. 12 shows the Pareto line of efficient solutions. Nine different points on that line were investigated:

- energy import minimization without utility constraint (point 1),
- utility maximization without energy import constraint (point 9),
- intermediate points (2 to 8), which were found by utility maximization with constrained energy imports.

The foreign savings constraint was reached only at point 9, the foreign debts constraint was a limiting factor for solutions 1 and 2.

The capital stocks end conditions were both equally met for points 2 to 8. Minimizing the energy imports alone led to a capital stock of the energy sector which was higher than the end condition constraint value. On the other hand, maximizing the utility objective without energy import constraint lead to a capital stock of the M-sector which was higher than the minimum end condition value.

Between points 2 and 4, and this might be the most interesting result, a discontinuity occurs, not only with respect to the values of both objectives but even more drastically with respect to the corresponding investment policies. This will be shown by the following series of figures.

It should be mentioned, that the search for points 4 to 7 was extremely difficult. Local minima (dashed line in fig. 12) were found at first. Only the multi-membered evolution strategy /22/ helped to find the (probably) global minima.

During the search for the efficient solutions it turned out that the price determinant became singular and no equilibrium could be determined at some of the time periods. To avoid this,

the investment rates had to be bounded from below. These bounds were reached

- for the total investment rates
 - from 1973 to 1978 for solutions 4 to 9
- for the energy sector investment shares
 - from 1973 to 1978 for all solutions
 - at 1981 for all solutions
 - at 1995 for solutions 1 and 4.

Figures 13 to 35 present time series of some important variables. The four lines in each plot correspond with the scenarios (numbers taken from fig. 12) as follows:

- 1 (————)
- 3 (—·—·—·—·—)
- 4 (=====)
- 9 (-----)

The turnpiking behaviour after 1995 to meet the capital stocks end conditions is omitted from the plots. Fig. 13 shows the total investments in real terms, i.e. in constant prices of 1972. Scenarios 1 and 3, which may be called self-sufficiency scenarios due to the emphasis on energy import minimization, imply an immediate and considerable increase of the investments until 1978. Between 1978 and 1981, the second oil price increase period, they fall down to normal or even sub-normal values until they modestly rise again for the rest of the time horizon. Scenarios 4 and 9 show just the opposite policy: the total investments at first fall down to their lower limit and rise up between 1978 and 1981. The sharpest rise with a following decrease occurs in scenario 4, whereas a more modest and continuous increase is characteristic for scenario 9. The latter one may be called interdependency case because it is accompanied by substantial international transfers of goods and money.

Fig. 13

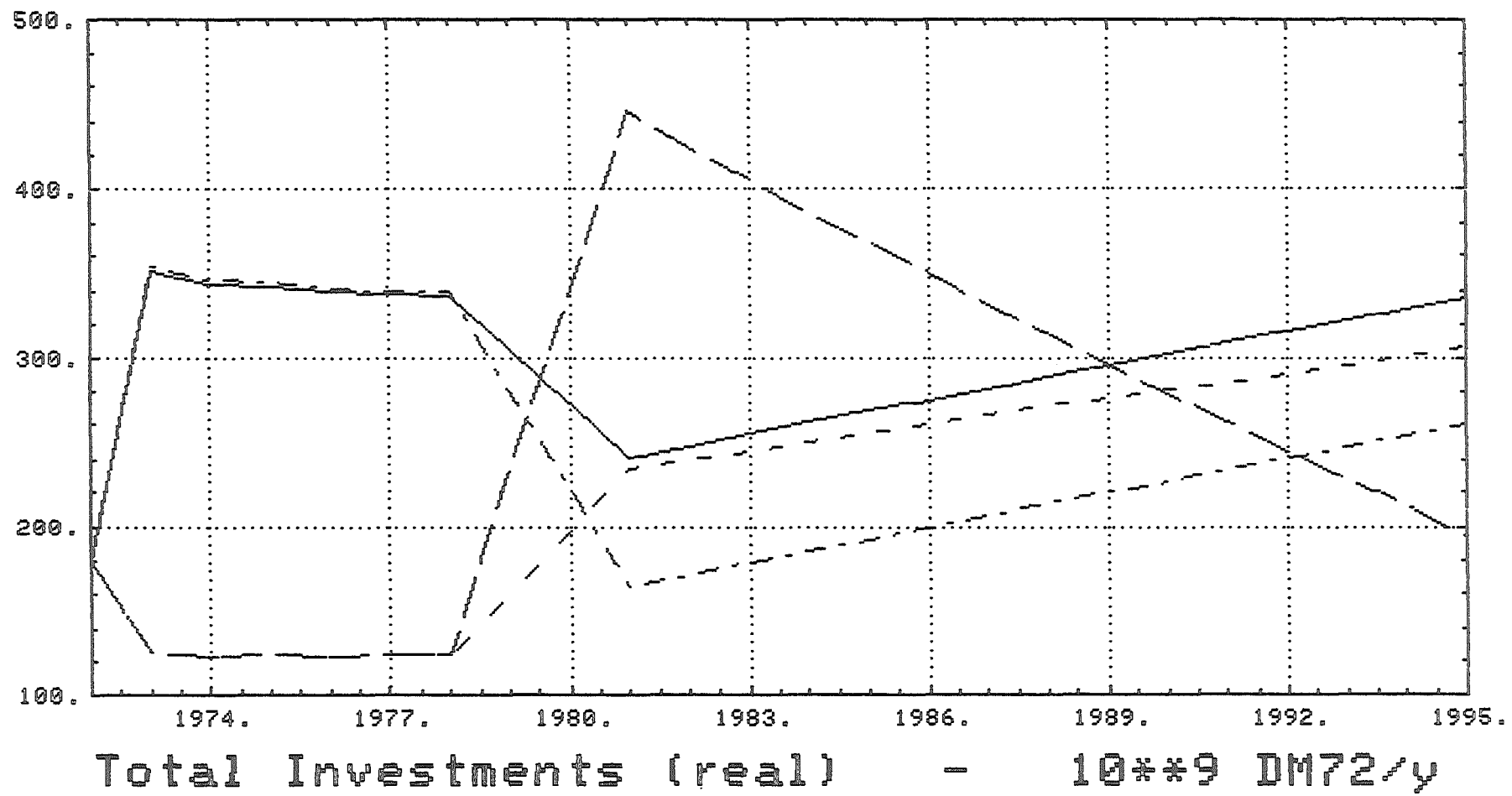
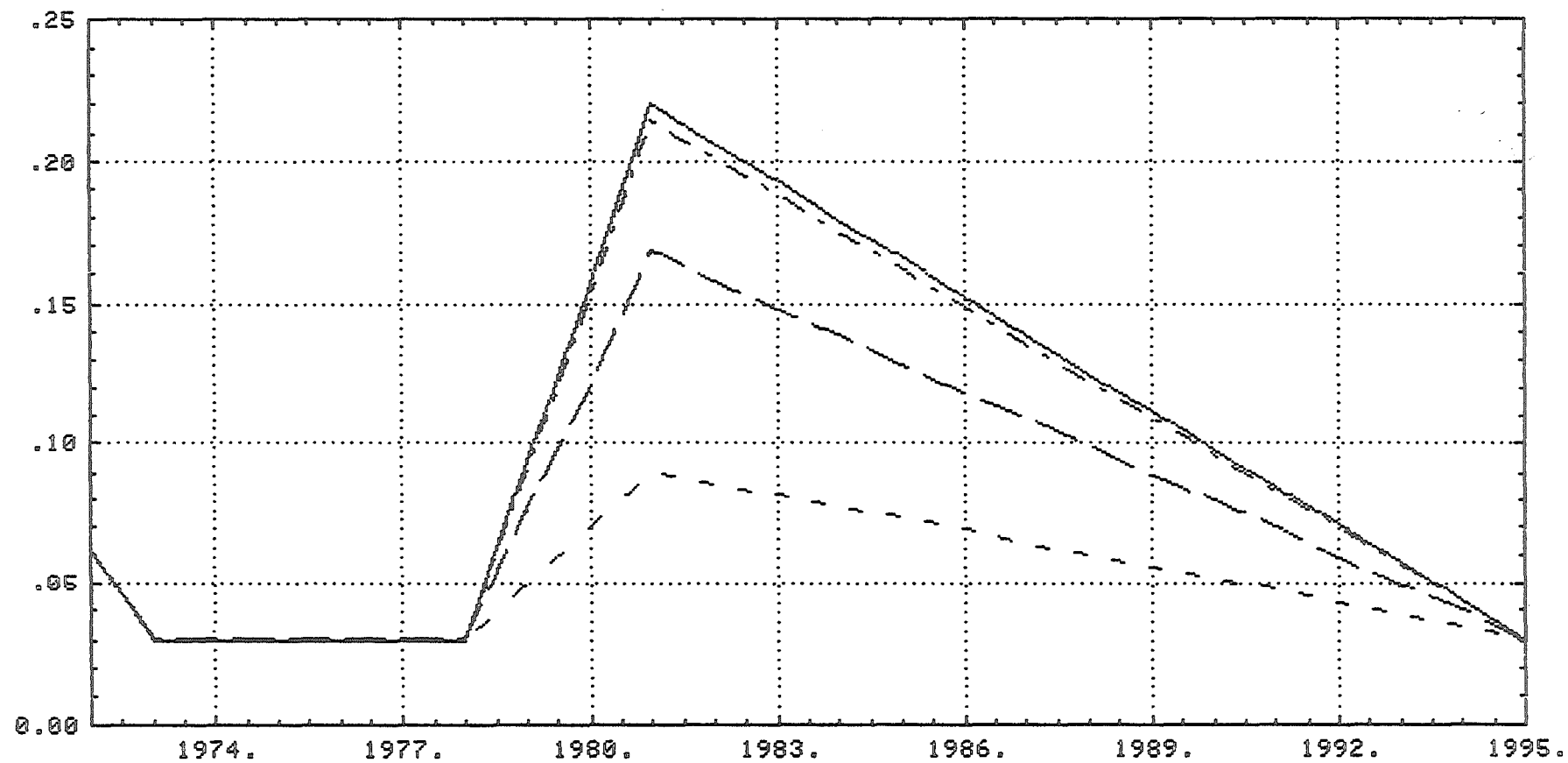


Fig. 14



Investment Share of the Energy Sector

The investment shares of the energy sector are given in fig.14. During the period between 1973 and 1978 all scenarios show a common drop of this share to the lower bound. The same happens at the end of the time horizon.

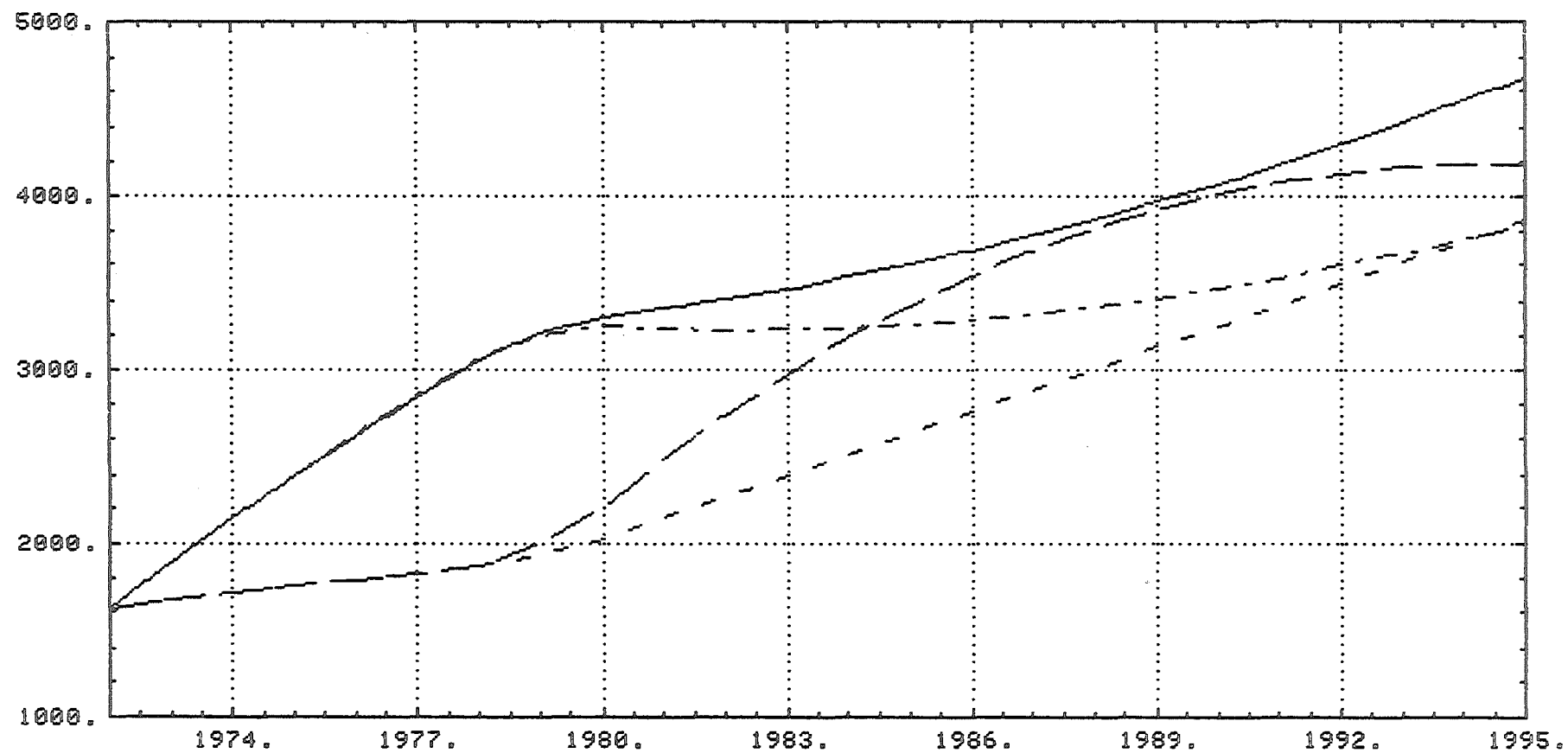
In between the highest energy sector investments correspond with the self-sufficiency goal, the lowest with the consumption maximization goal. The resulting capital stocks are shown in figures 15 and 16.

The question arises, how the investments are financed. The net savings/credits of the private households, the government and the foreign countries as well as the corresponding cumulative accounts are given in figures 17 to 22. It turns out that all three operating agents have their own savings contribution during high investment phases. The self-sufficiency seems to be limited by the foreign savings ceiling, the interdependency on the other hand by the foreign debts constraint.

Two important determinants for the goods and money transfer are the exchange rate (fig. 23) and the difference between domestic and foreign interests (fig. 24). The exchange rate in scenario 9 climbs up at highest, thus making cheaper the imports and more expensive our exports. Its effect on the relative (with respect to the domestic inflation rate, shown in fig. 25) price increase for the energy imports can be seen from fig. 26. The time schedule of the interests difference between Germany and the rest of the world (fig. 24) clearly demonstrates the strong correlation to high and low investments.

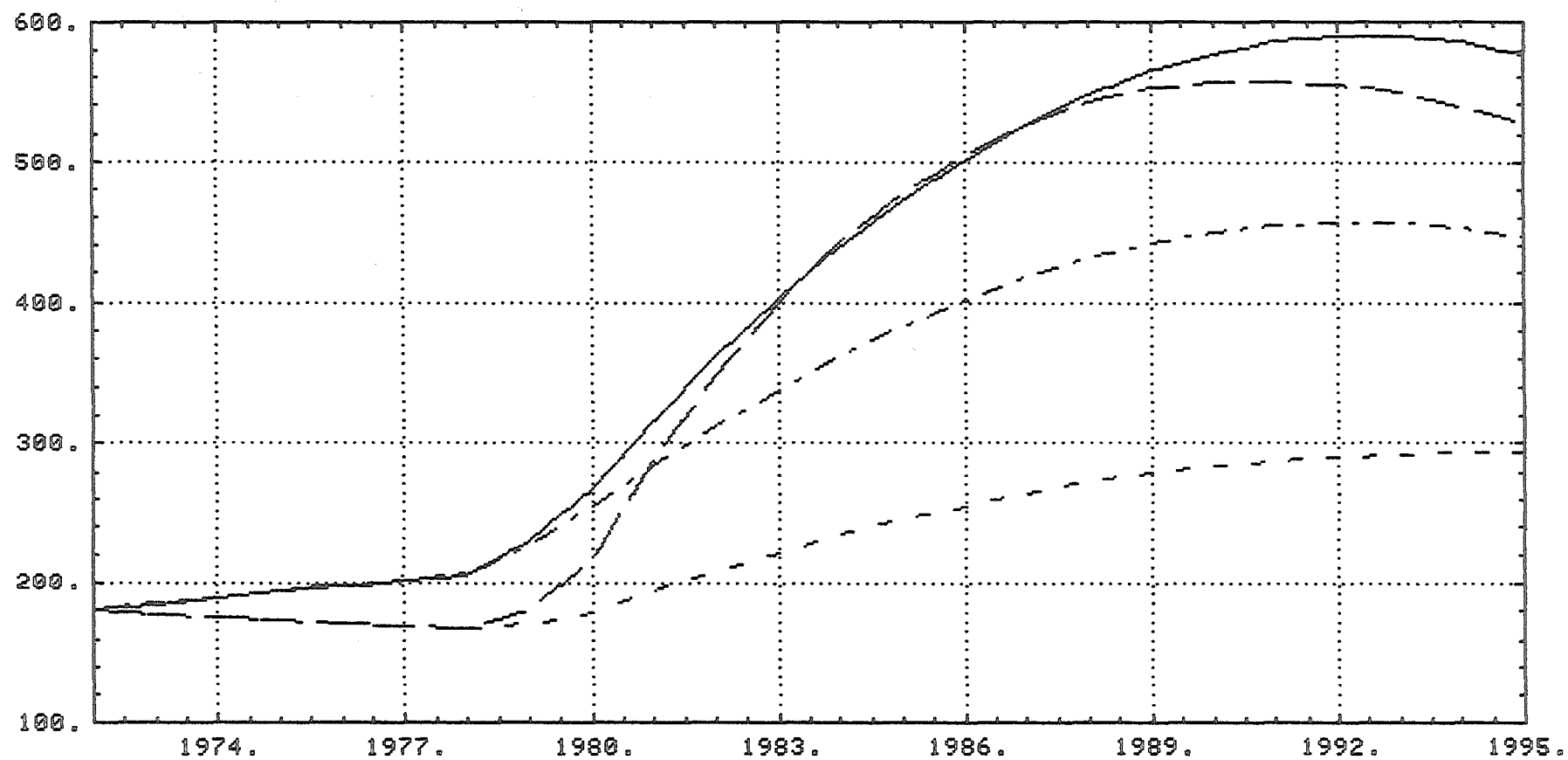
The energy consumption, given in real values, is shown in fig. 27. for the private households and in fig. 28 for the industrial (non-energy) sectors. Real as well as nominal values are given in figures 29 and 30 for the resulting energy imports. Comparing both figures reveals again the exchange rate influence on the prices which have to be paid for energy imports.

Fig. 15



Capital Stock of the M-Sector - 10**9 DM

Fig. 16



Capital stock of the E-Sector - 10^9 DM

Fig. 17

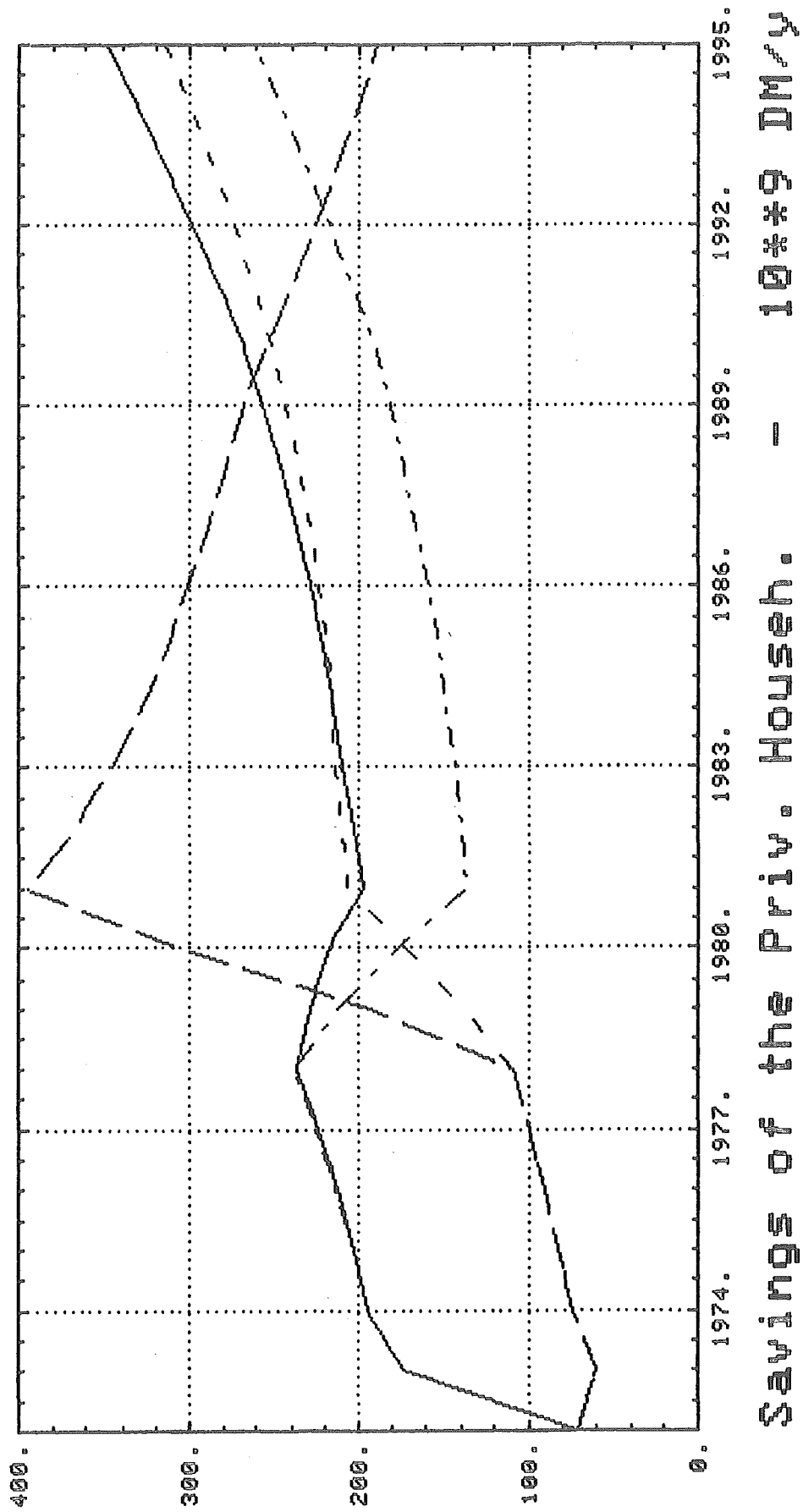
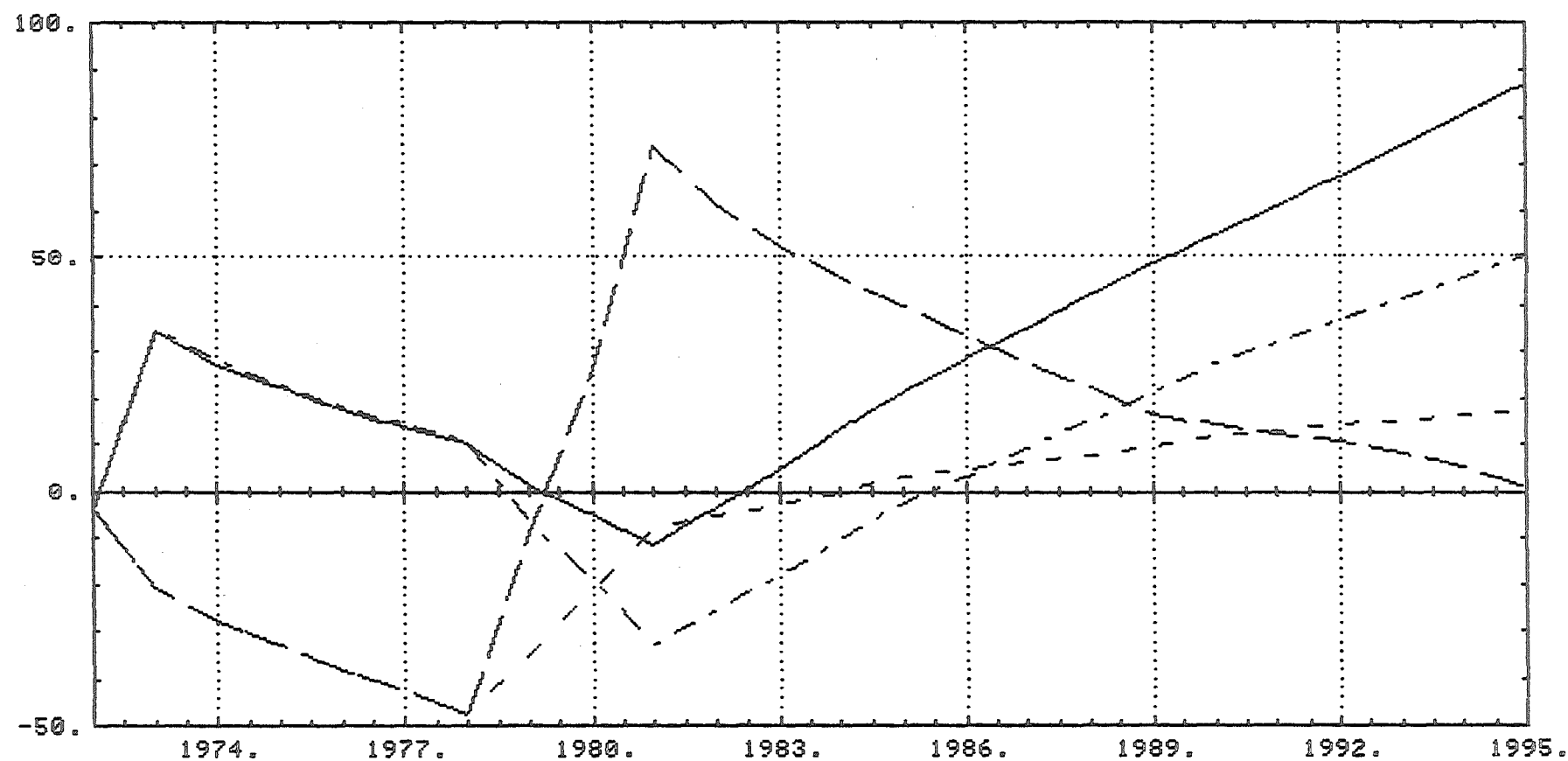


Fig. 18



Public Savings-Credits - 10**9 DM/y

Fig. 19

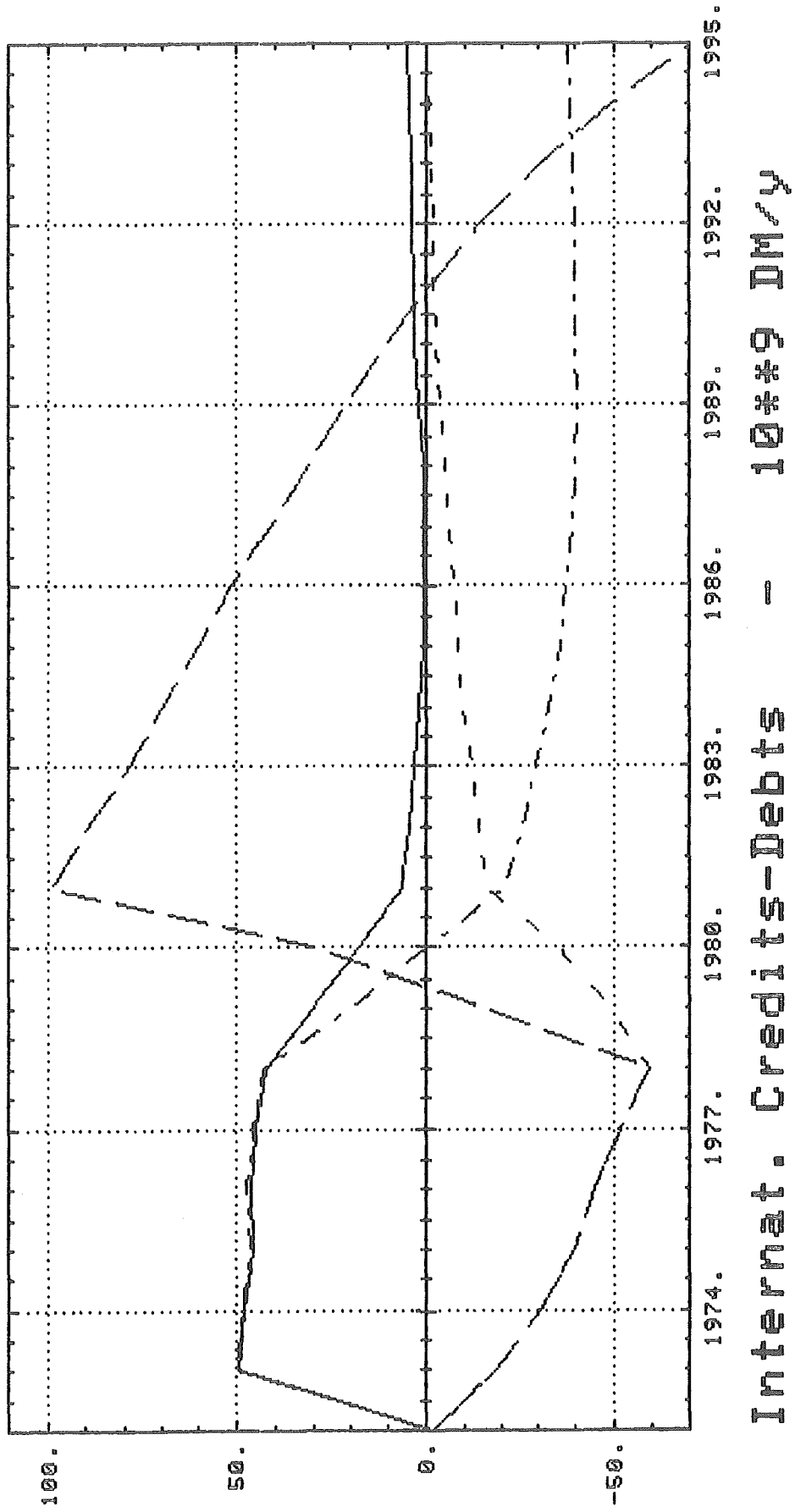
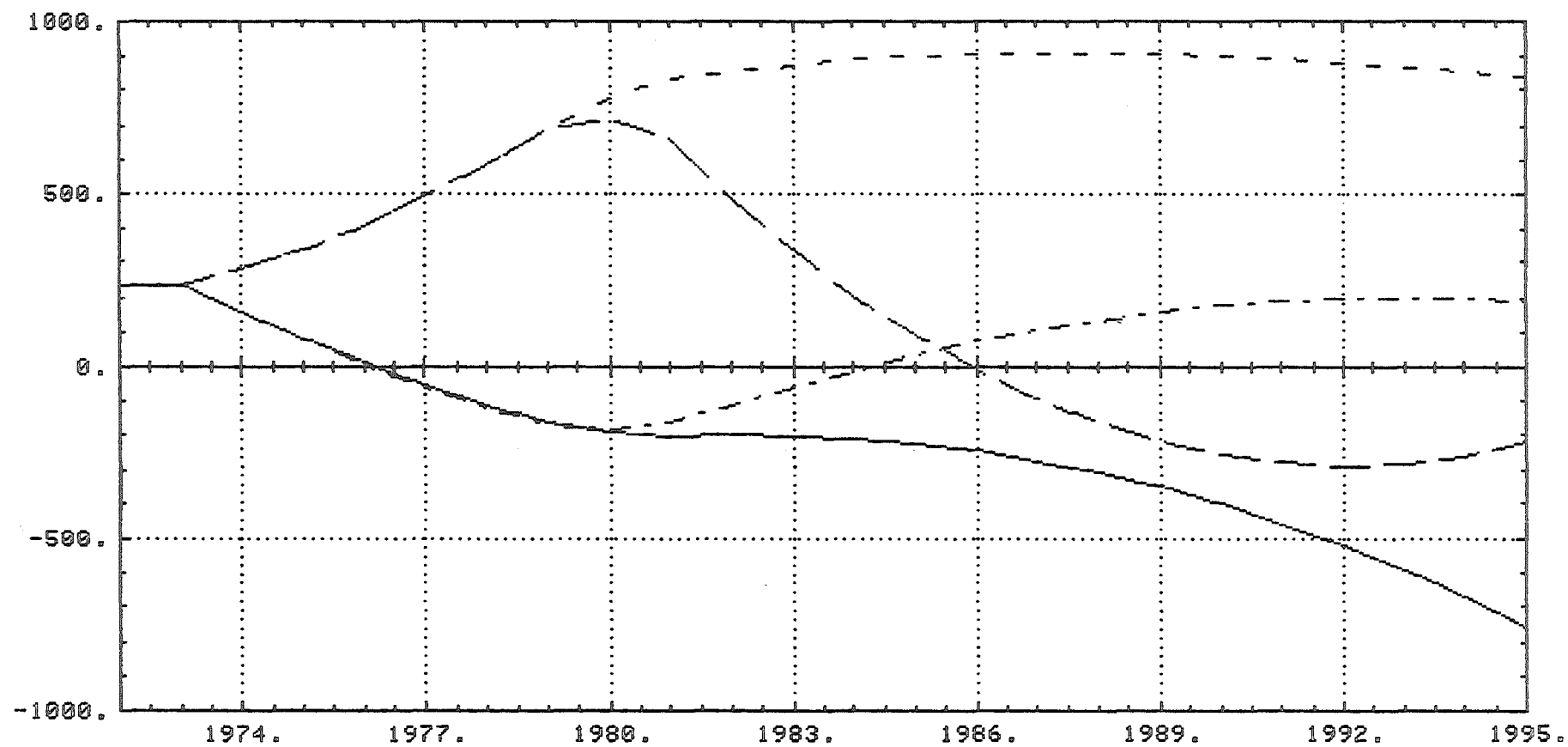
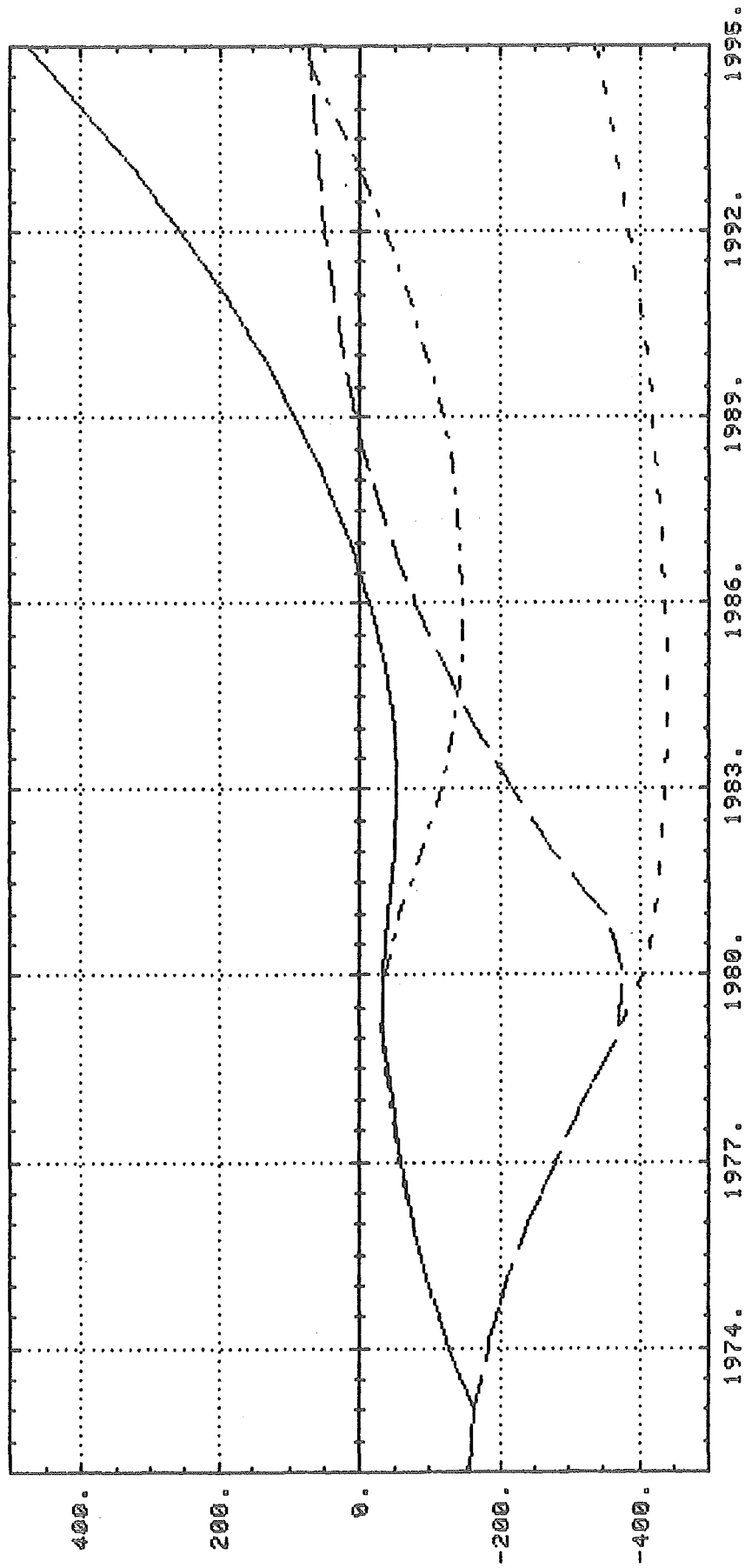


Fig. 20



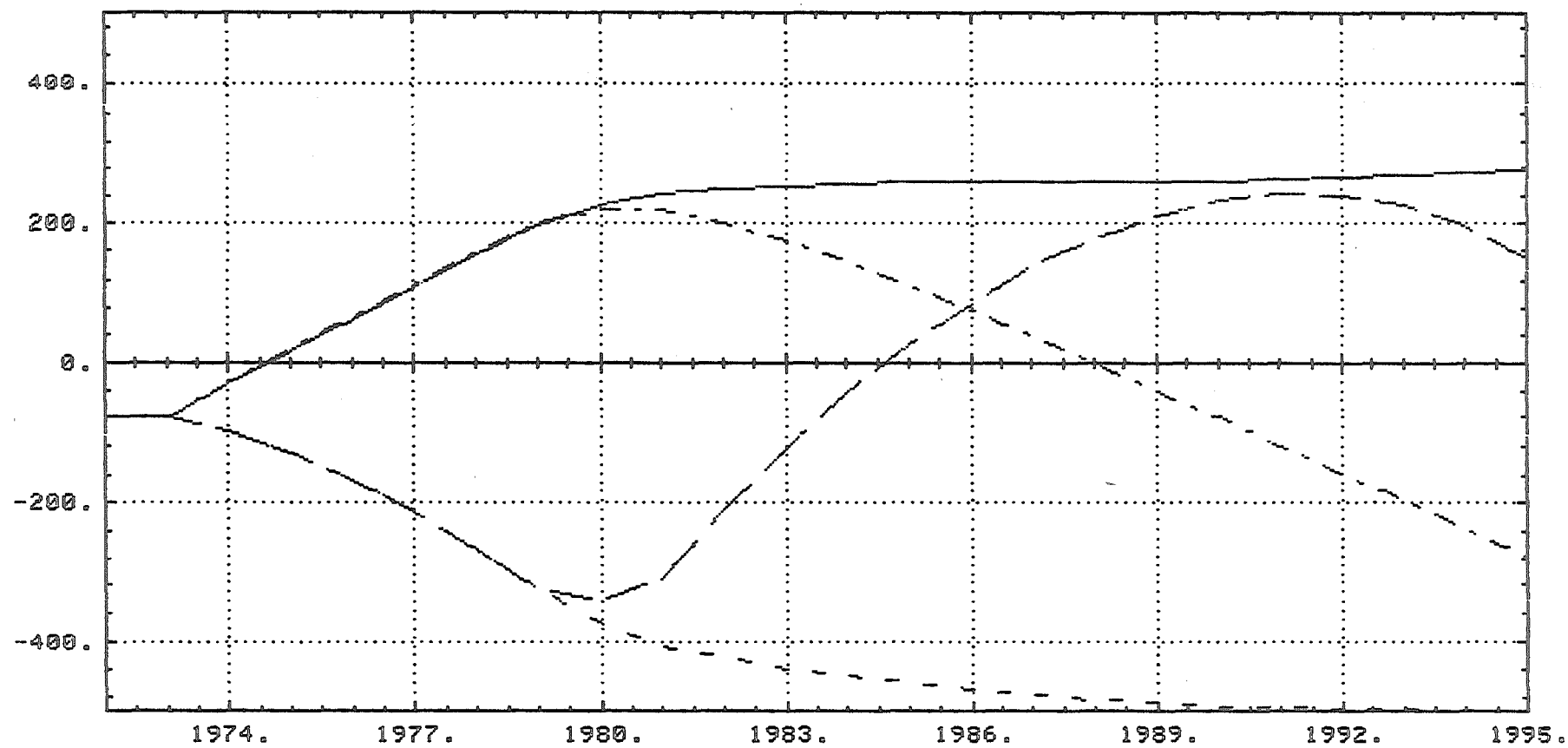
Savings Account Priv. Househ. - 10**9 DM

Fig. 21



Savings Account Government - 10**9 DM

Fig. 22



Savings Account Foreigners - 10**9 DM

Fig. 23

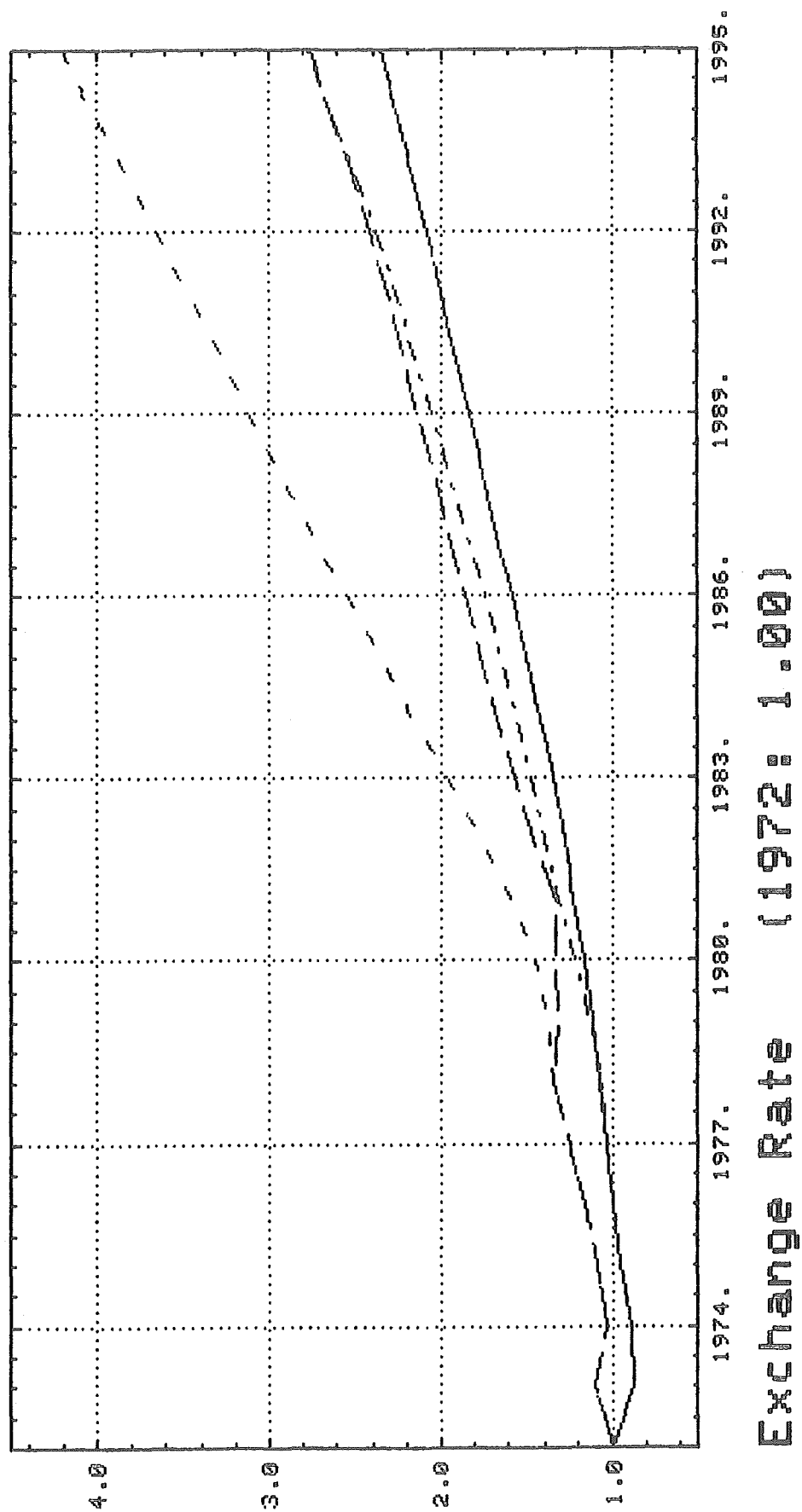


Fig. 24

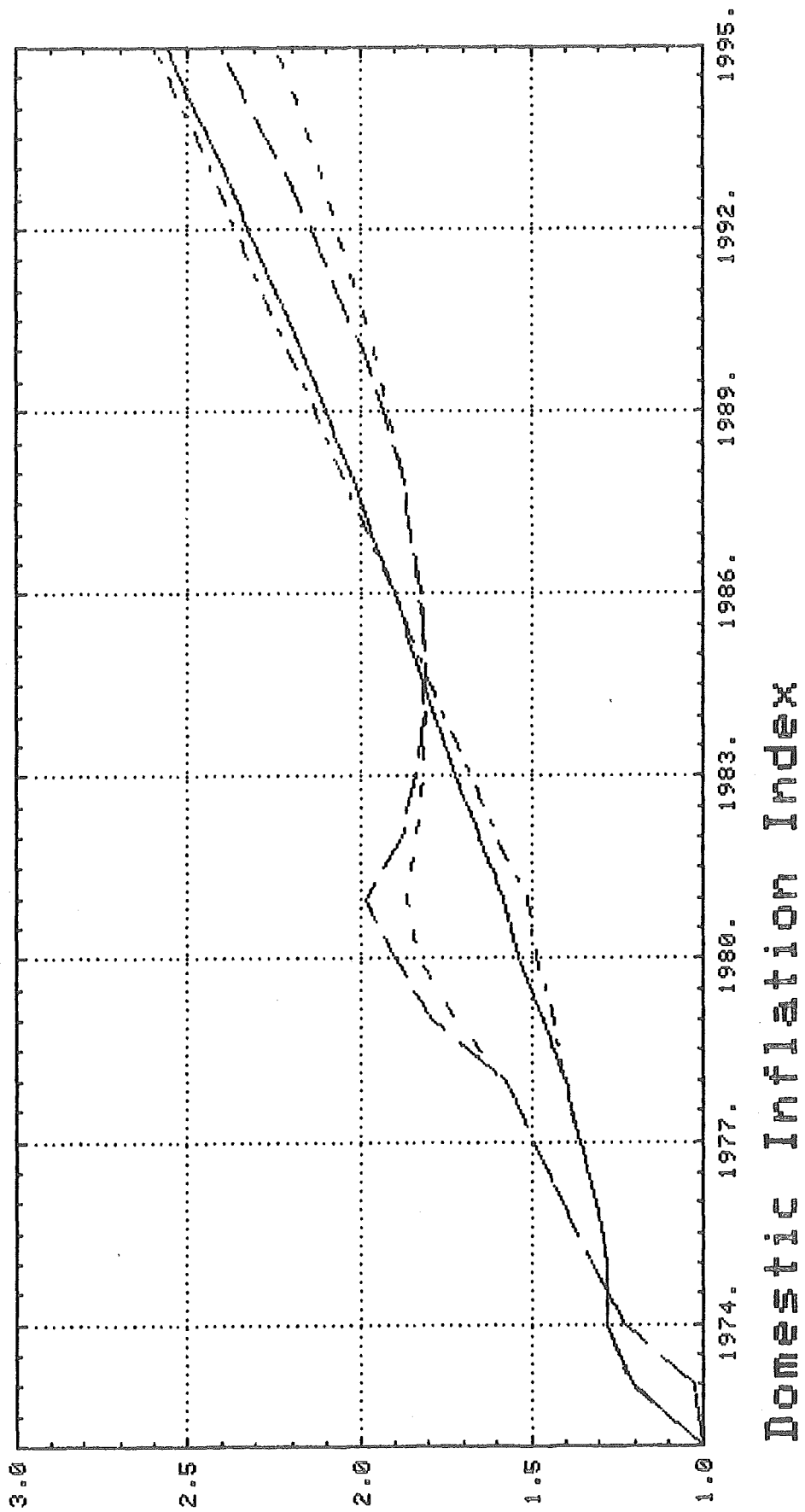
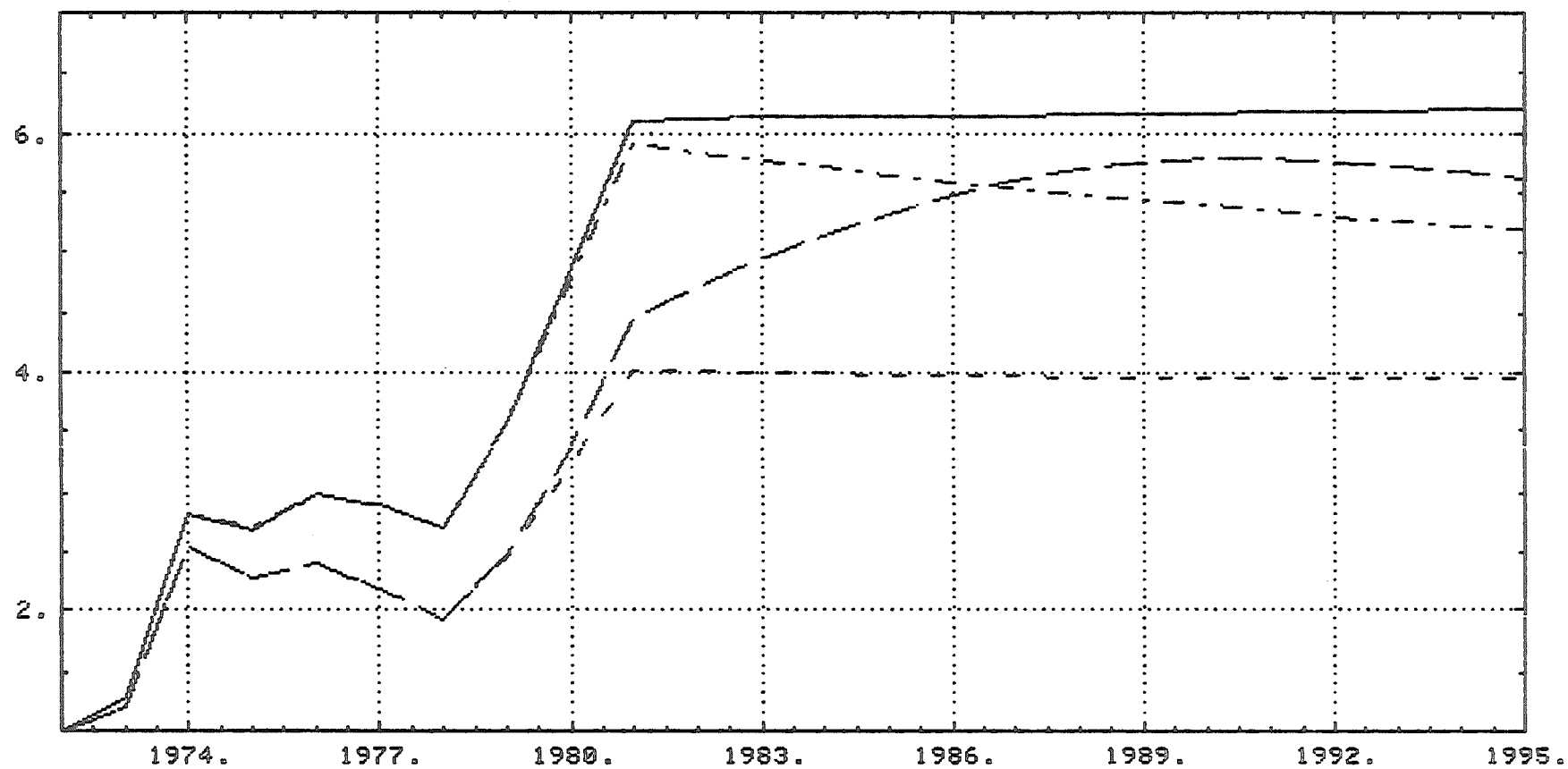


Fig. 25



Real Price Index for Energy Imports

Fig. 26

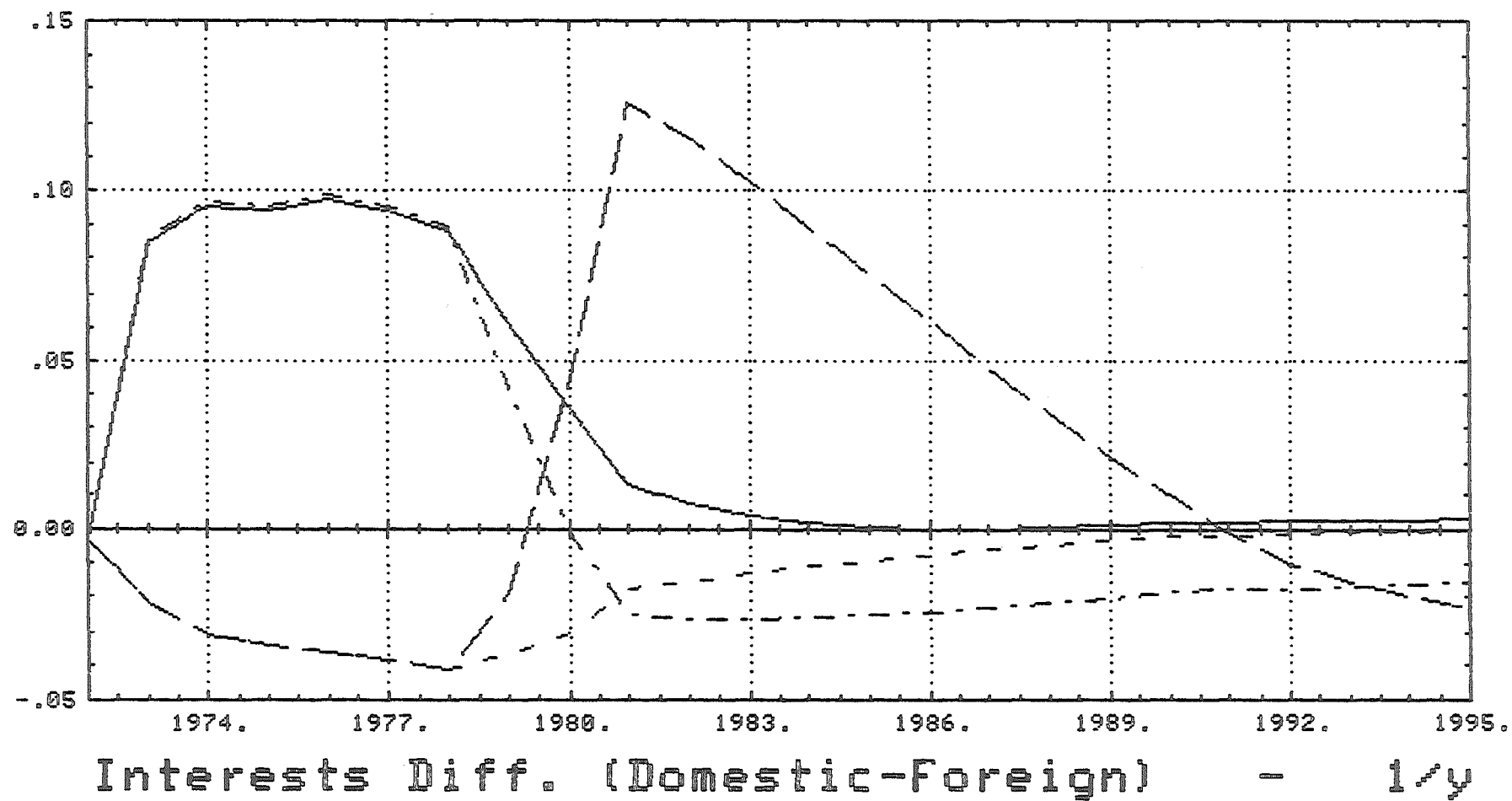
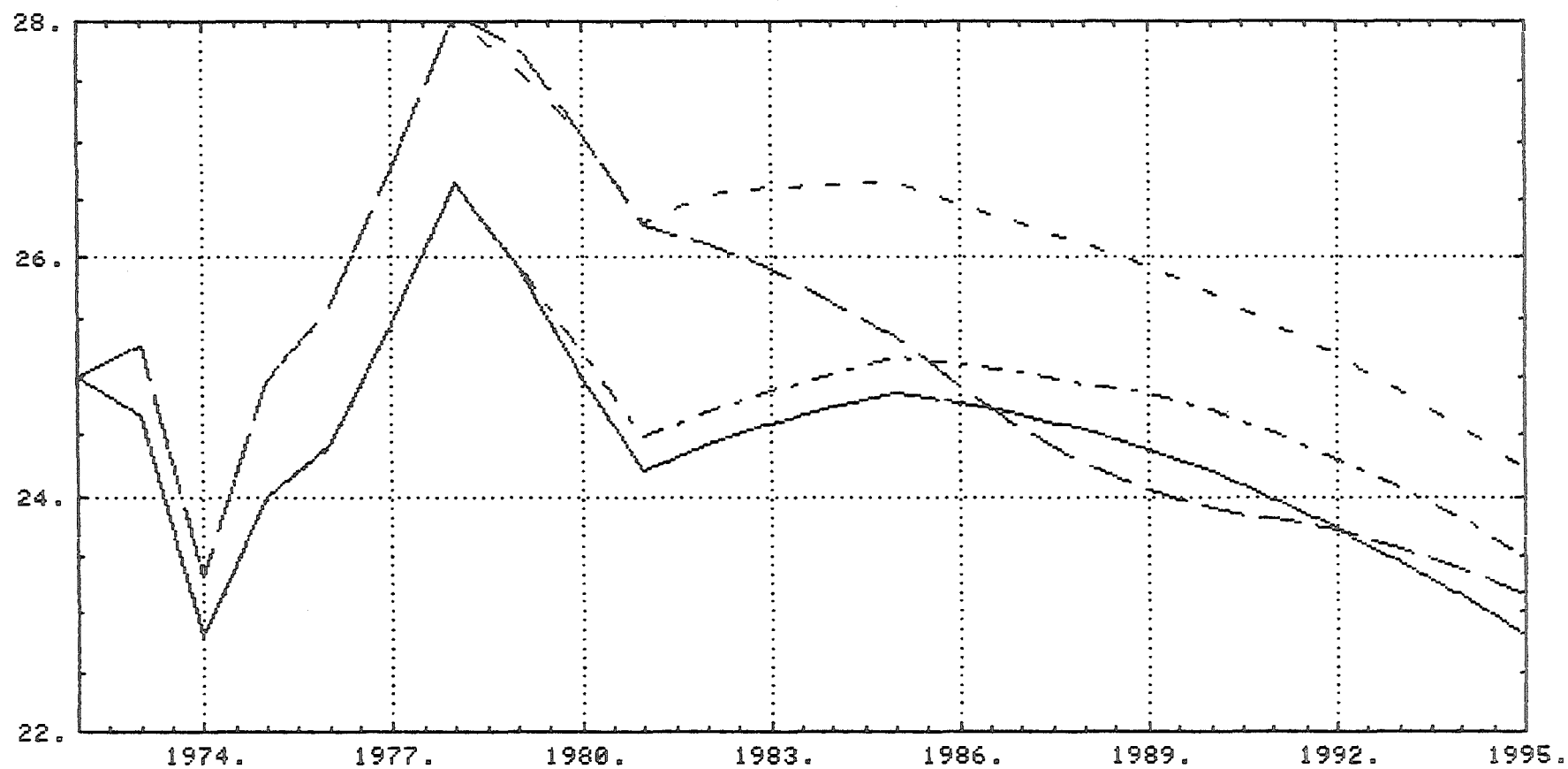


Fig. 27



Energy Cons. Priv. Househ. - 10**9 DM72/y

Fig. 28

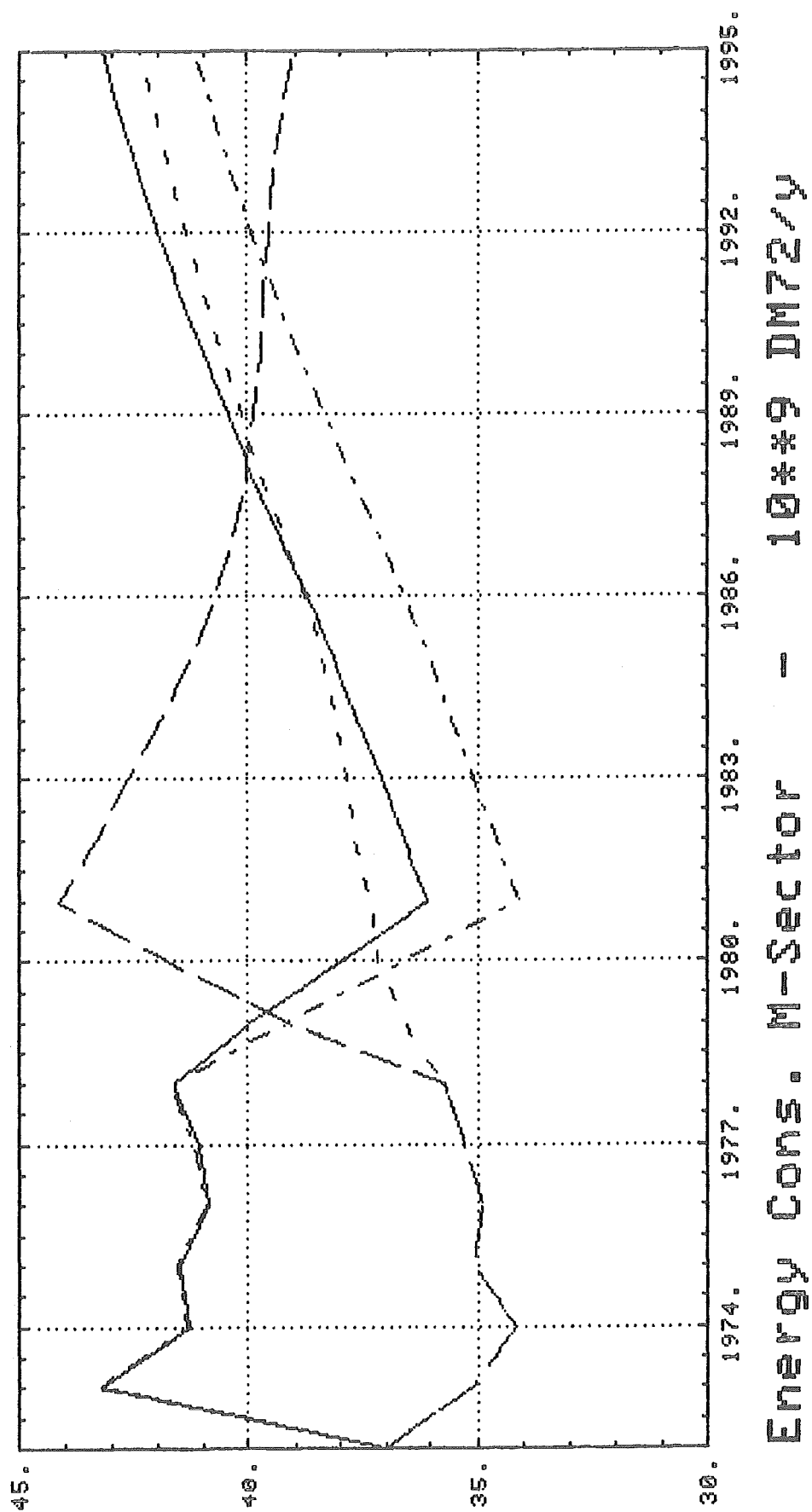


Fig. 29

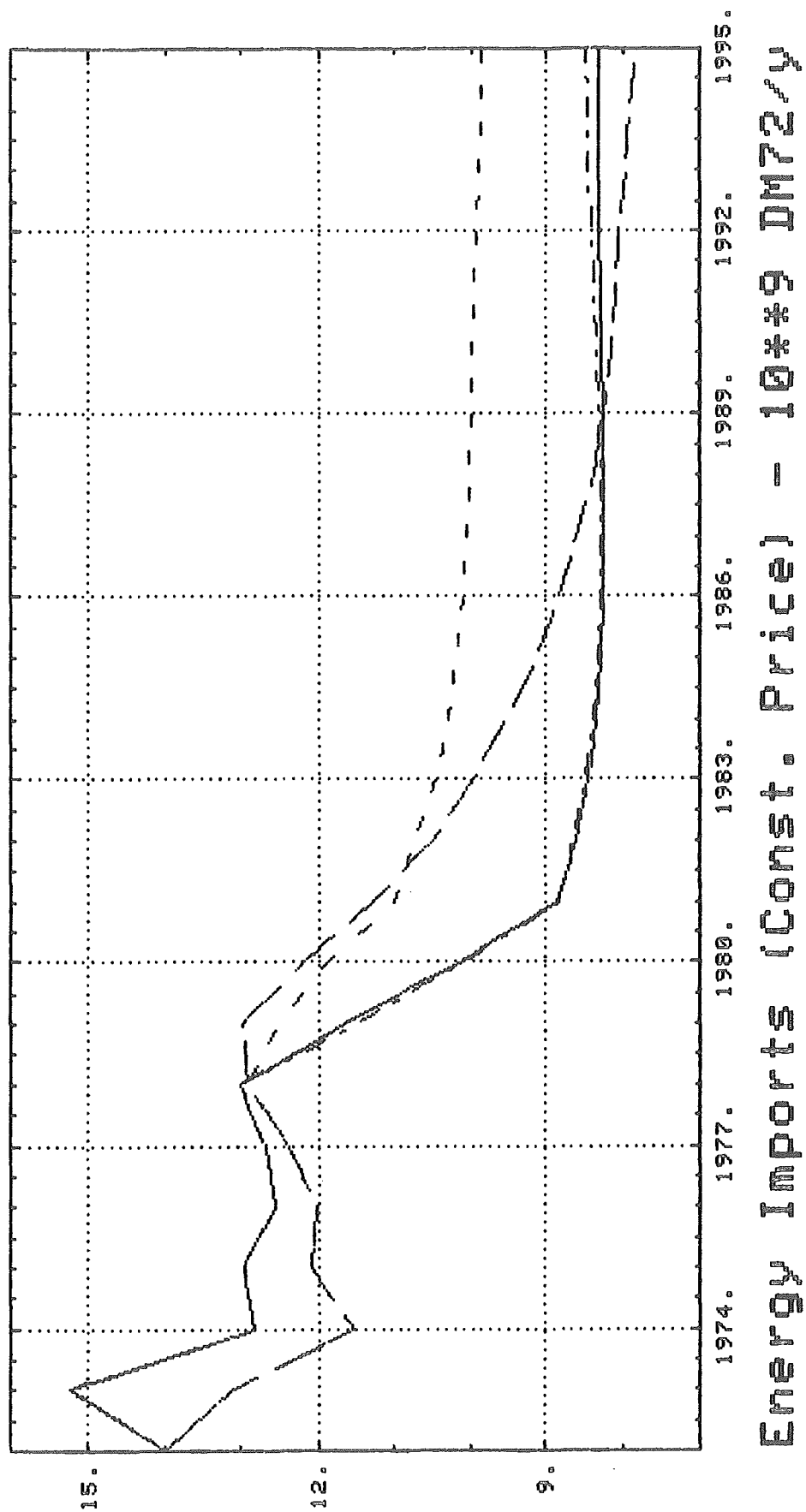
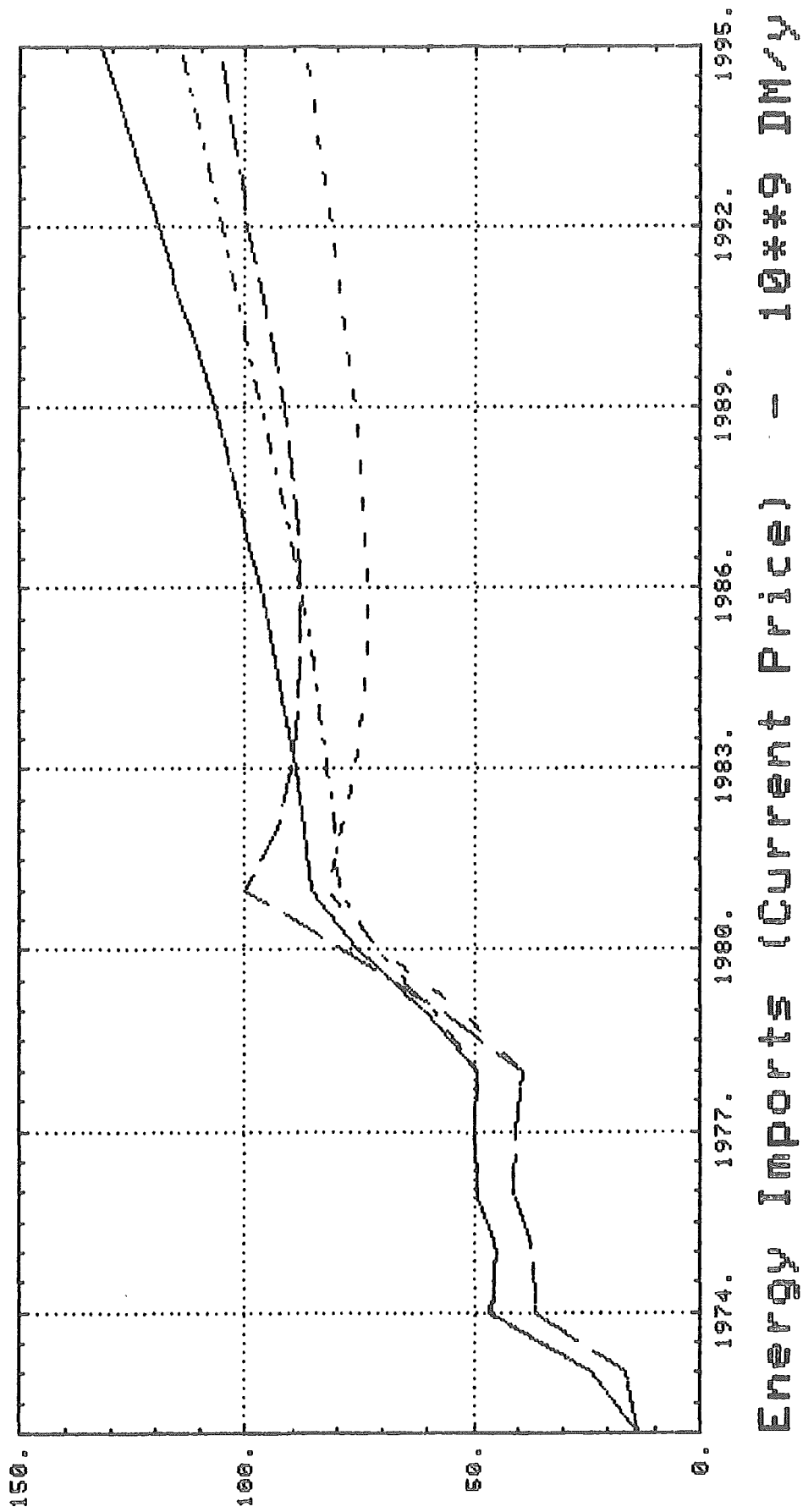


Fig. 30

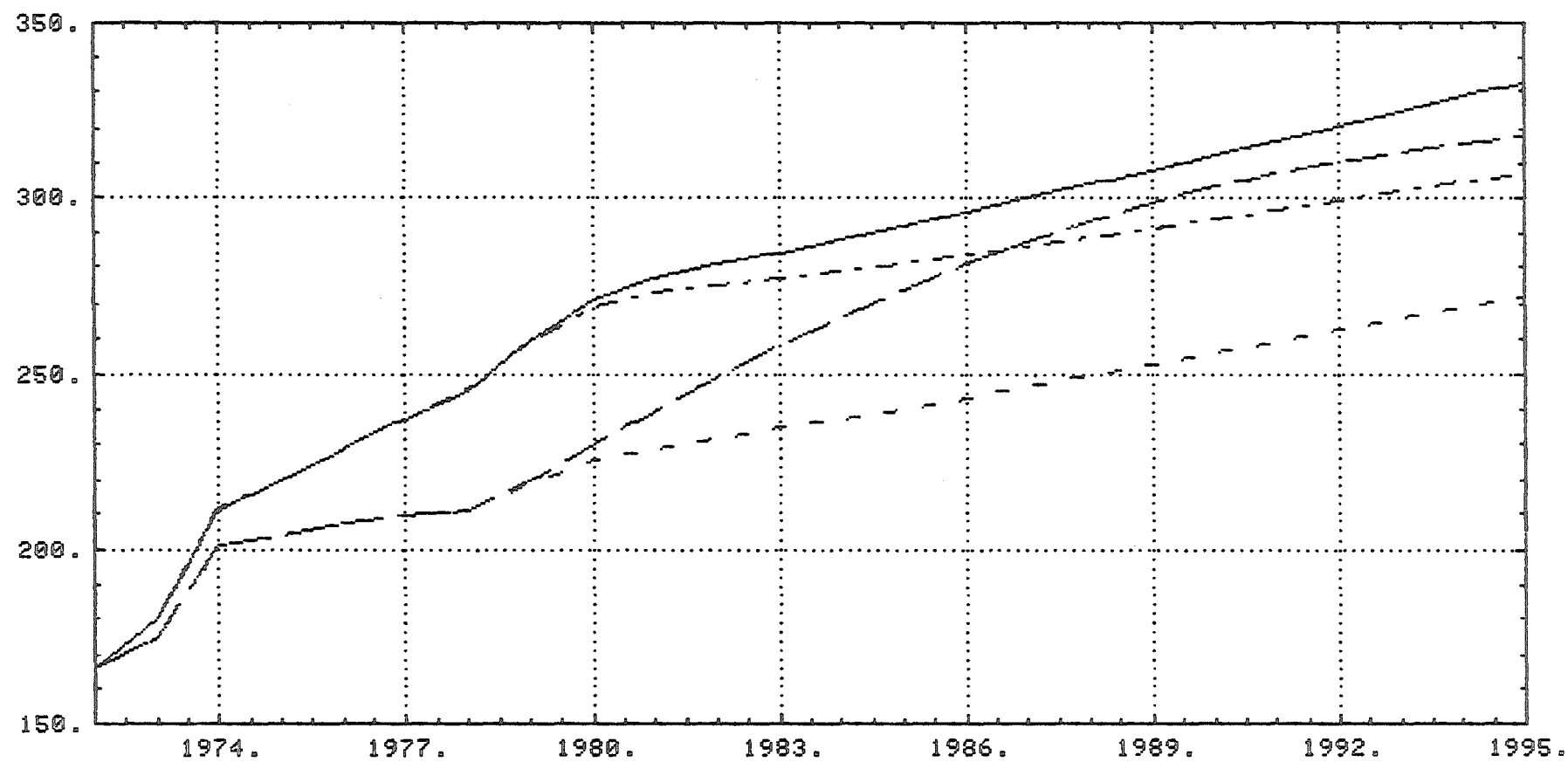


Our exports to foreign countries, again in real and nominal terms are shown in figures 31 and 32. Finally the trade balance (including services exchanges, e.g. due to tourism) is plotted (fig. 33), the gross domestic production (fig. 34), and the share of the private households in the latter (fig. 35).

More detailed information about those items not explicitly mentioned during the discussion of the plots provided so far may be taken from the real and nominal Social Accounting Matrix (SAM) and the I-O coefficients tables given below for the years 1982 and 1995:

- | | |
|--------------|---------------------|
| - scenario 1 | (figures 36 and 40) |
| - scenario 3 | (figures 37 and 41) |
| - scenario 4 | (figures 38 and 42) |
| - scenario 9 | (figures 39 and 43) |

Fig. 31



M-Sector Exports (Const.Pr.) - 10^9 DM72/y

Fig. 32

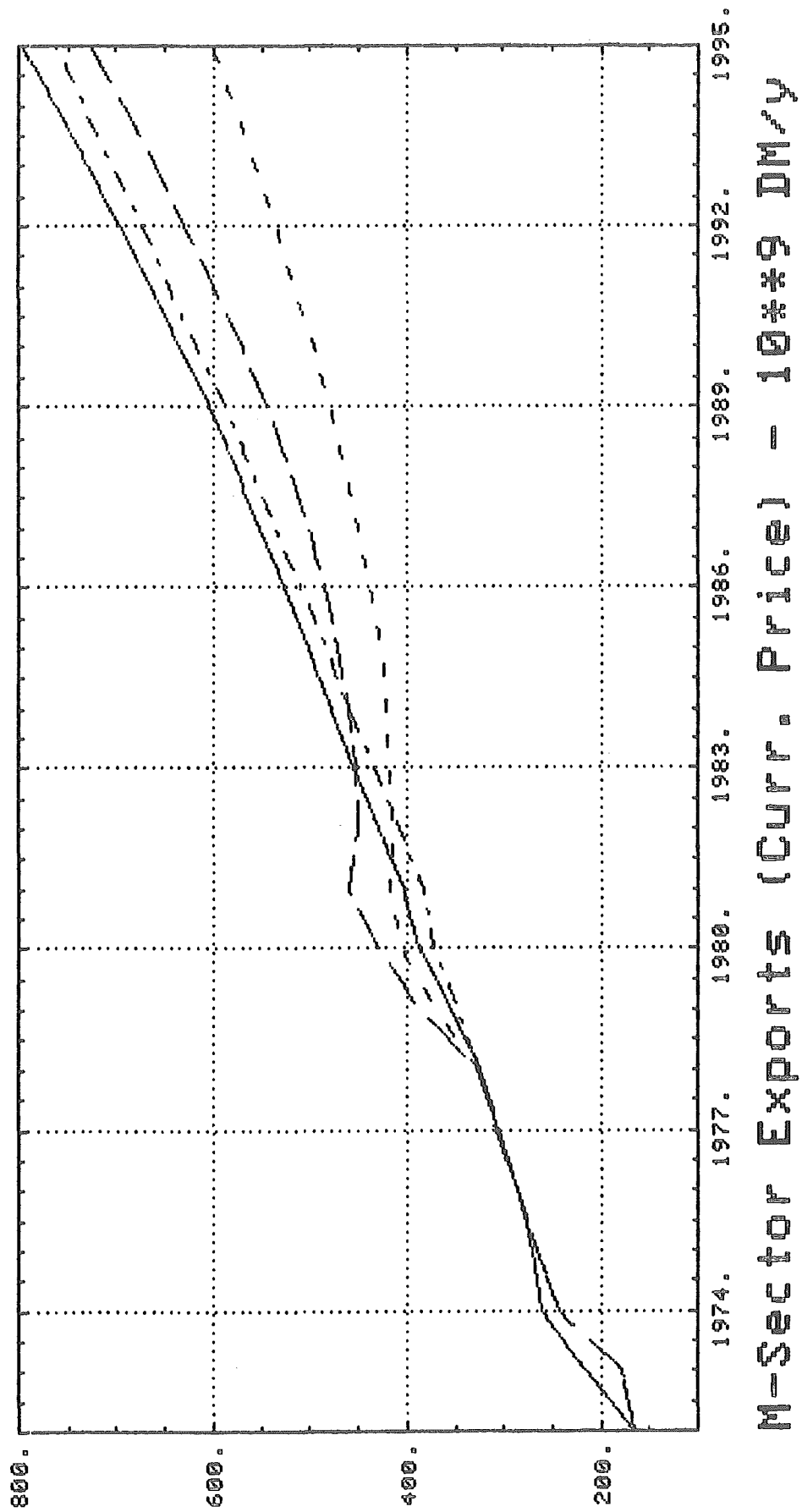


Fig. 33

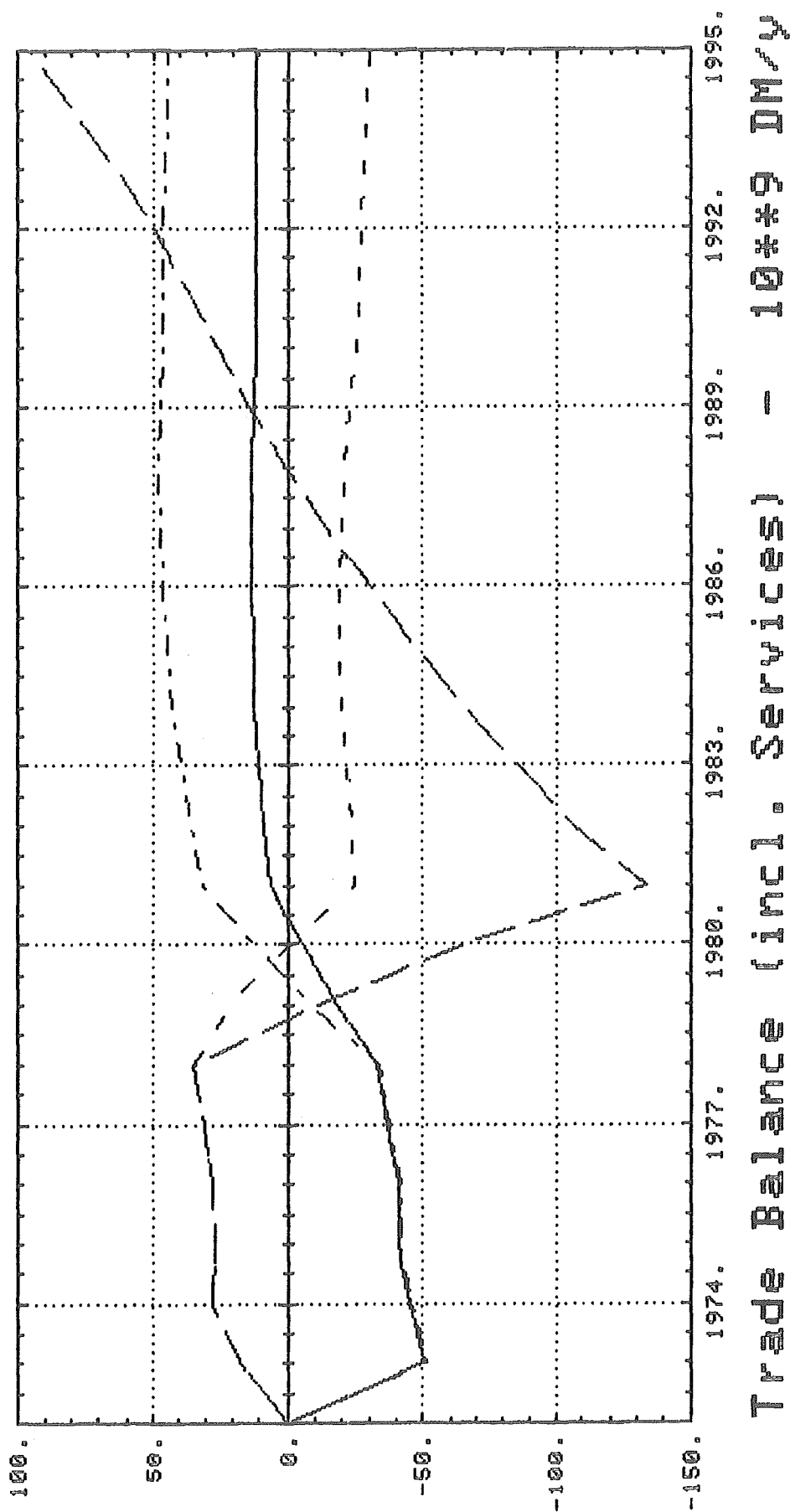


Fig. 34

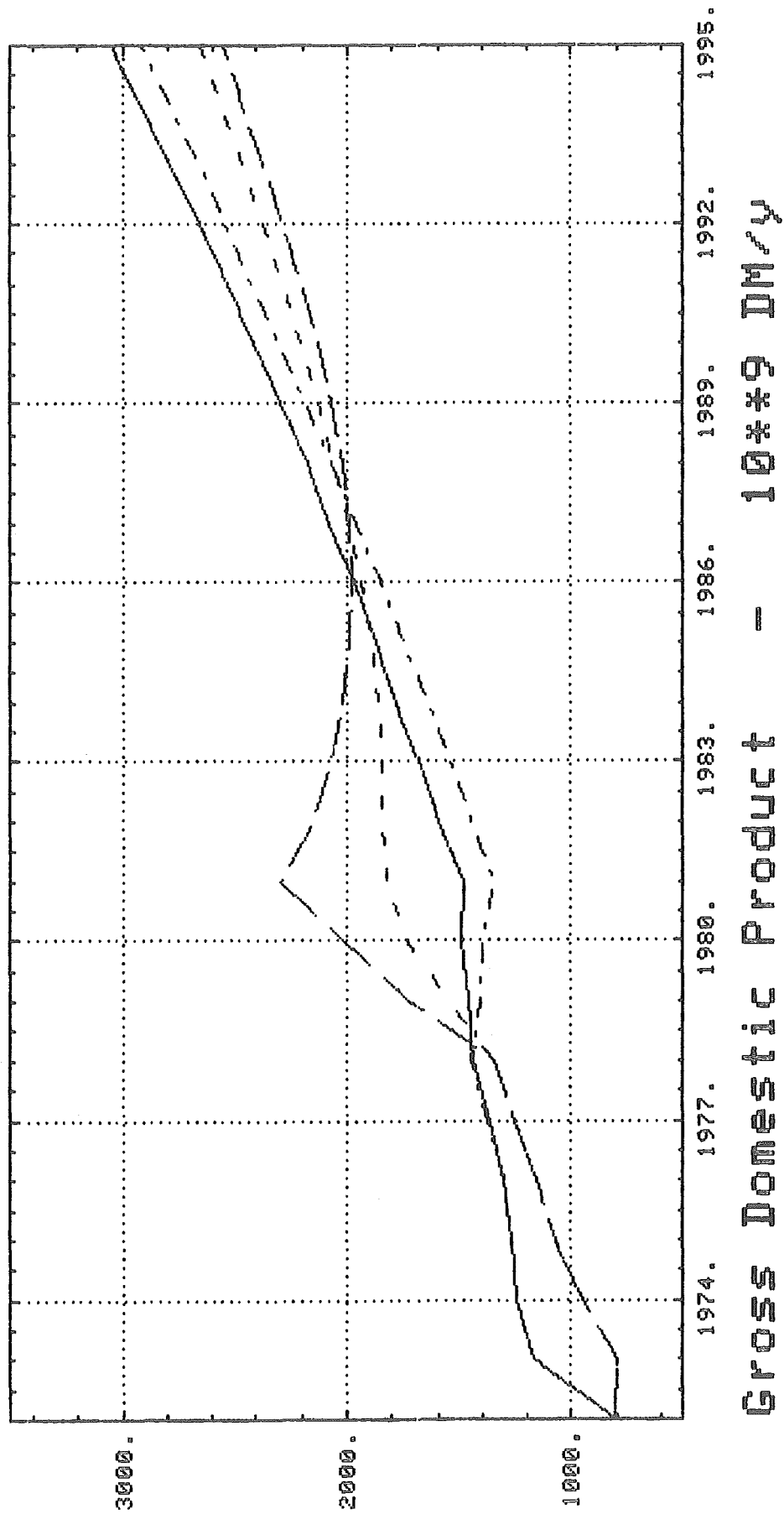
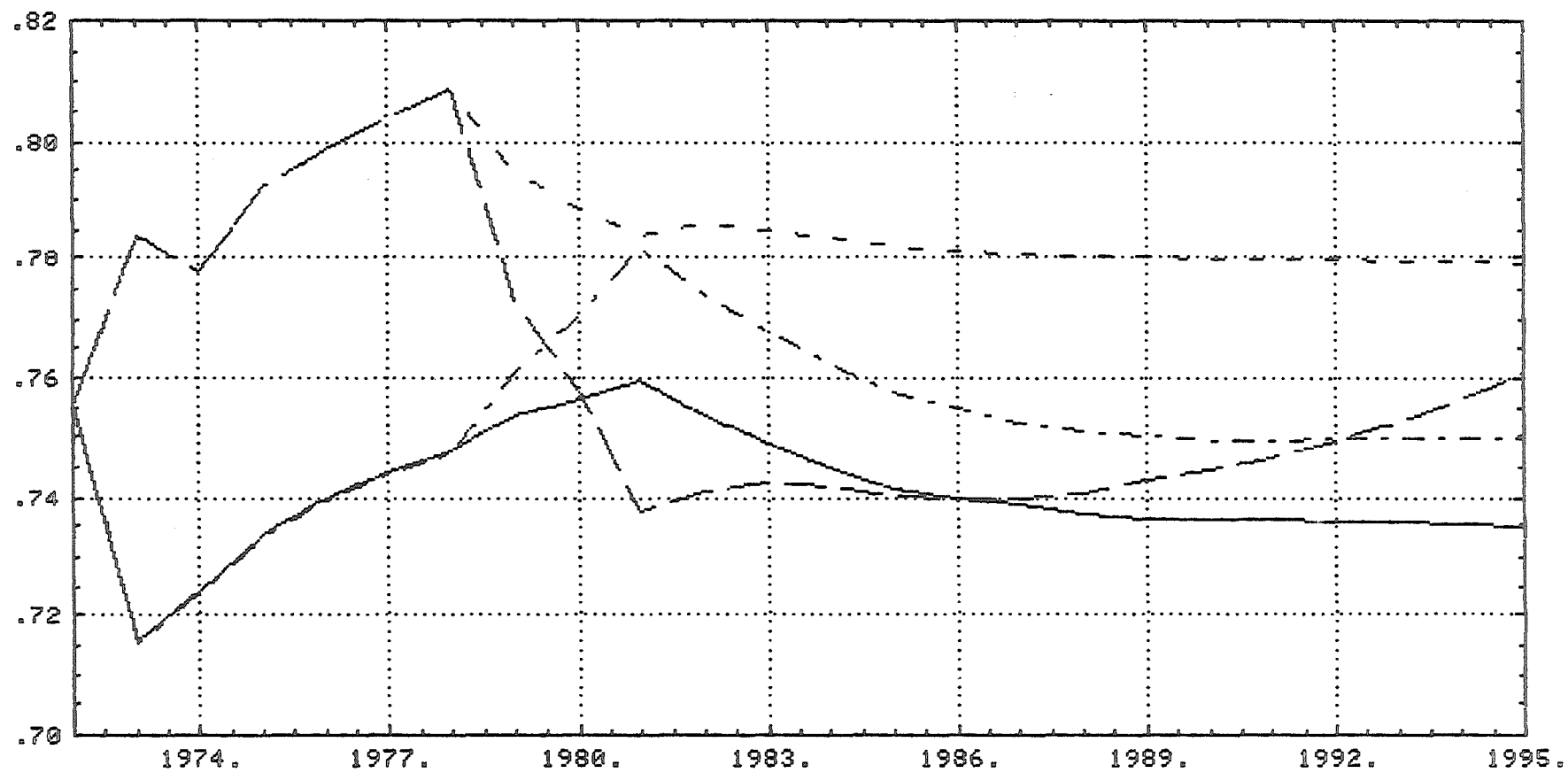


Fig. 35



Priv. Househ. Share in Gross Domestic Product

Fig. 36

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1982. 5958.8

ZIJ	E	M	H	G	F	PR	I	SUM	
E	120.6	107.8	71.9	8.8	14.7	0.0	0.0	323.9	E 0.0
M	30.6	1141.0	673.6	188.5	430.3	0.0	350.4	2814.4	M 0.0
H	24.6	710.2	0.0	186.0	0.0	283.6	0.0	1204.4	H 0.0
G	44.8	142.2	169.7	0.0	19.6	19.9	0.0	396.2	G 0.0
F	87.2	214.5	81.2	13.5	0.0	25.3	59.6	481.3	F 0.0
C	16.1	498.6	208.0	-0.7	16.7	0.0	0.0	738.7	C 0.0
P	10.3	298.4	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	328.7	P 0.0
I	84.8	325.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	410.0	I 0.0
-R	0.0	0.0	-4.8	-2.7	7.6	0.0	0.0	0.0	-R 0.0
S	-78.9	-125.0	203.1	-3.5	4.3	0.0	0.0	0.0	S 0.0
SUM	323.9	2814.4	1204.4	396.2	481.3	328.7	410.0	5958.8	SUM
	0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0		
SAC	-224.5	-2167.4	-200.0	-50.2	250.1	0.0	0.0	-2391.9	SAC
CS	360.9	3405.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3765.9	CS
A	18.4	245.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	263.7	A 0.0

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1982.

YIJ	E	M	H	G	F	PR	I	XI	
E	25.3	36.6	24.4	3.0	5.0	0.0	0.0	94.3	E
M	19.9	744.4	439.5	123.0	280.7	0.0	228.6	1836.2	M
H	12.3	355.1	0.0	93.0	0.0	171.5	0.0	602.7	H
G	15.2	92.8	84.8	0.0	19.6	12.0	0.0	224.5	G
F	8.6	95.2	36.0	6.0	0.0	15.3	26.4	187.6	F
C	22.1	575.9	125.8	-0.4	10.1	0.0	0.0	733.4	C
P	6.2	180.5	0.0	0.0	12.1	0.0	0.0	198.8	P
I	51.3	196.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	247.9	I
-R	0.0	0.0	-2.9	-1.6	4.6	0.0	0.0	0.0	-R
S	-47.7	-75.6	241.7	-2.1	2.6	0.0	0.0	0.0	S
XJ	94.3	1836.2	602.7	224.5	187.6	198.8	247.9		

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1982.

AIJ	E	M	H	BIJ	E	M	H	
E	0.2682	0.0199	0.0407	E	0.2716	0.0188	0.0407	E
M	0.2113	0.4054	0.7328	M	0.2132	0.4043	0.7328	M
H	0.1303	0.1934	0.0000	H	0.1249	0.1830	0.0000	G
G	0.1613	0.0505	0.1414	G	0.1613	0.0505	0.1414	H
F	0.0912	0.0519	0.0601	F	0.0777	0.0484	0.0601	F
C,S	0.2338	0.3136	0.4030	C,S	0.2895	0.3387	0.4030	C,S
SUM	1.0960	1.0348	1.3781	SUM	1.1382	1.0438	1.3781	SUM

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1982. 5350.7

ZIJ	E	M	H	G	F	PR	I	SUM	
E	104.4	98.8	70.5	8.6	14.3	0.0	0.0	296.5	E 0.0
M	29.2	1038.9	670.4	183.0	408.8	0.0	234.4	2564.7	M 0.0
H	24.1	658.4	0.0	186.0	0.0	254.7	0.0	1123.1	H 0.0
G	42.6	129.6	158.5	0.0	19.1	17.8	0.0	367.7	G 0.0
F	80.6	192.3	81.4	12.4	0.0	22.7	39.8	429.3	F 0.0
C	15.6	446.7	142.4	-22.3	-12.9	0.0	0.0	569.4	C 0.0
P	9.9	267.4	0.0	0.0	17.9	0.0	0.0	295.2	P 0.0
I	55.2	219.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	274.2	I 0.0
-R	0.0	0.0	-2.4	-3.1	5.5	0.0	0.0	0.0	-R 0.0
S	-49.5	-39.7	139.9	-25.4	-25.3	0.0	0.0	0.0	S 0.0
SUM	296.5	2564.7	1123.1	367.7	429.3	295.2	274.2	5350.7	SUM
	0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	0.0		
SAC	-175.1	-2013.7	-110.0	-89.6	199.6	0.0	0.0	-2188.8	SAC
CS	312.5	3226.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3539.4	CS
A	15.5	225.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	241.1	A 0.0

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1982.

YIJ	E	M	H	G	F	PR	I	XI	
E	25.3	34.6	24.7	3.0	5.0	0.0	0.0	92.6	E
M	19.7	698.4	450.7	123.0	274.8	0.0	157.6	1724.2	M
H	12.0	329.2	0.0	93.0	0.0	159.4	0.0	561.8	H
G	14.9	87.1	79.3	0.0	19.1	11.2	0.0	211.6	G
F	8.6	92.7	39.2	6.0	0.0	14.2	19.2	180.0	F
C	19.1	545.8	89.1	-14.0	-8.1	0.0	0.0	631.9	C
P	6.2	167.3	0.0	0.0	11.2	0.0	0.0	184.8	P
I	34.5	137.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	171.6	I
-R	0.0	0.0	-1.5	-1.9	3.4	0.0	0.0	0.0	-R
S	-31.0	-24.9	142.9	-15.9	-15.9	0.0	0.0	0.0	S
XJ	92.6	1724.2	561.8	211.6	180.0	184.8	171.6		

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1982.

AIJ	E	M	H	BIJ	E	M	H	
E	0.2732	0.0201	0.0441	E	0.2812	0.0188	0.0441	E
M	0.2123	0.4051	0.8043	M	0.2169	0.4036	0.8043	M
H	0.1299	0.1909	0.0000	H	0.1234	0.1773	0.0000	G
G	0.1613	0.0505	0.1414	G	0.1613	0.0505	0.1414	H
F	0.0932	0.0538	0.0700	F	0.0757	0.0510	0.0700	F
C,S	0.2062	0.3165	0.2550	C,S	0.2564	0.3471	0.2550	C,S
SUM	1.0761	1.0369	1.3149	SUM	1.1148	1.0483	1.3149	SUM

Fig. 38

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1982. 8057.4

ZIJ	E	M	H	G	F	PR	I	SUM	
E	139.1	129.5	78.0	9.0	14.9	0.0	0.0	370.5	E 0.0
M	38.0	1527.9	822.5	222.2	449.9	0.0	683.3	3743.8	M 0.0
H	30.4	934.3	0.0	186.0	0.0	388.1	0.0	1538.8	H 0.0
G	49.5	189.2	225.3	0.0	29.2	27.2	0.0	520.3	G 0.0
F	93.0	279.0	100.2	11.8	0.0	34.6	116.1	634.7	F 0.0
C	20.5	684.0	312.8	91.4	140.7	0.0	0.0	1249.3	C 0.0
P	13.0	409.4	0.0	0.0	27.5	0.0	0.0	449.9	P 0.0
I	126.5	672.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	799.4	I 0.0
-R	0.0	0.0	53.9	-29.7	-24.2	0.0	0.0	0.0	-R 0.0
S	-119.1	-398.3	366.6	61.7	89.1	0.0	0.0	0.0	S 0.0
SUM	370.5	3743.8	1538.8	520.3	634.7	449.9	799.4	8057.4	SUM
	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0		
SAC	-229.2	-1000.4	488.8	-277.8	-211.0	0.0	0.0	-1229.5	SAC
CS	347.6	2742.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3089.6	CS
A	20.9	232.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	253.7	A 0.0

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1982.

YIJ	E	M	H	G	F	PR	I	XI	
E	25.3	43.3	26.1	3.0	5.0	0.0	0.0	102.8	E
M	21.0	845.9	455.4	123.0	249.1	0.0	378.3	2072.8	M
H	15.2	467.1	0.0	93.0	0.0	206.4	0.0	767.6	H
G	16.6	104.7	112.6	0.0	29.2	14.5	0.0	277.6	G
F	10.5	141.7	50.9	6.0	0.0	18.4	59.0	286.4	F
C	21.2	463.8	166.4	48.6	74.9	0.0	0.0	774.9	C
P	6.9	217.8	0.0	0.0	14.6	0.0	0.0	239.3	P
I	67.3	358.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	425.3	I
-R	0.0	0.0	28.7	-15.8	-12.9	0.0	0.0	-0.0	-R
S	-63.4	-211.9	547.3	32.8	47.4	0.0	0.0	0.0	S
XJ	102.8	2072.8	767.6	277.6	286.4	239.3	425.3		

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1982.

AIJ	E	M	H	BIJ	E	M	H	
E	0.2462	0.0209	0.0328	E	0.2467	0.0203	0.0328	E
M	0.2045	0.4081	0.5719	M	0.2040	0.4076	0.5719	M
H	0.1480	0.2254	0.0000	H	0.1408	0.2174	0.0000	G
G	0.1613	0.0505	0.1414	G	0.1613	0.0505	0.1414	H
F	0.1021	0.0683	0.0639	F	0.0931	0.0658	0.0639	F
C,S	0.2067	0.2237	0.6873	C,S	0.2474	0.2362	0.6873	C,S
SUM	1.0689	0.9970	1.4973	SUM	1.0934	0.9979	1.4973	SUM

Fig. 39

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1982. 6700.5

ZIJ	E	M	H	G	F	PR	I	SUM	
E	111.0	112.1	79.0	8.9	14.9	0.0	0.0	325.8	E 0.0
M	37.1	1308.7	847.2	221.0	416.4	0.0	374.8	3205.2	M 0.0
H	29.7	796.2	0.0	186.0	0.0	342.4	0.0	1354.3	H 0.0
G	46.8	162.0	204.3	0.0	28.6	24.0	0.0	465.6	G 0.0
F	78.8	227.1	104.2	9.8	0.0	30.5	63.7	514.1	F 0.0
C	22.3	599.2	119.7	39.9	54.3	0.0	0.0	835.4	C 0.0
P	14.2	358.6	0.0	0.0	24.1	0.0	0.0	396.9	P 0.0
I	37.6	400.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	438.5	I 0.0
-R	0.0	0.0	90.1	-45.4	-44.7	0.0	0.0	0.0	-R 0.0
S	-29.5	-160.3	209.8	-5.5	-14.4	0.0	0.0	0.0	S 0.0
SUM	325.8	3205.2	1354.3	465.6	514.1	396.9	438.5	6700.5	SUM
	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0		
SAC	-46.3	-433.1	857.6	-432.7	-424.9	0.0	0.0	-479.4	SAC
CS	208.7	2270.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2479.3	CS
A	12.5	191.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	204.2	A 0.0

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1982.

YIJ	E	M	H	G	F	PR	I	XI	
E	25.3	37.7	26.5	3.0	5.0	0.0	0.0	97.5	E
M	20.7	728.4	471.6	123.0	231.8	0.0	208.6	1784.1	M
H	14.9	398.1	0.0	93.0	0.0	186.7	0.0	673.0	H
G	15.7	90.2	102.1	0.0	28.6	13.1	0.0	249.7	G
F	10.7	138.8	63.7	6.0	0.0	16.6	38.9	274.7	F
C	12.8	384.0	65.3	21.8	29.6	0.0	0.0	513.4	C
P	7.8	195.5	0.0	0.0	13.1	0.0	0.0	216.4	P
I	20.5	218.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	239.1	I
-R	0.0	0.0	49.1	-24.8	-24.3	0.0	0.0	0.0	-R
S	-16.1	-87.4	226.9	-3.0	-7.9	0.0	0.0	0.0	S
XJ	97.5	1784.1	673.0	249.7	274.7	216.4	239.1		

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1982.

AIJ	E	M	H	BIJ	E	M	H	
E	0.2594	0.0211	0.0368	E	0.2594	0.0203	0.0368	E
M	0.2120	0.4083	0.6530	M	0.2227	0.4077	0.6530	M
H	0.1523	0.2231	0.0000	H	0.1530	0.2163	0.0000	G
G	0.1613	0.0505	0.1414	G	0.1613	0.0505	0.1414	H
F	0.1098	0.0778	0.0882	F	0.0941	0.0789	0.0882	F
C,S	0.1308	0.2153	0.3141	C,S	0.1478	0.2222	0.3141	C,S
SUM	1.0256	0.9961	1.2335	SUM	1.0383	0.9959	1.2335	SUM

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1995. 11295.1

ZIJ	E	M	H	G	F	PR	I	SUM	
E	217.9	190.1	100.4	13.2	22.0	0.0	0.0	543.5	E 0.0
M	49.4	2182.3	1312.5	288.0	798.4	0.0	733.1	5363.7	M 0.0
H	40.3	1325.4	0.0	320.5	0.0	573.7	0.0	2259.9	H 0.0
G	70.5	271.0	317.8	0.0	22.5	40.2	0.0	722.1	G 0.0
F	132.4	386.5	167.3	21.2	0.0	51.2	124.6	883.2	F 0.0
C	33.0	1008.4	361.9	79.1	40.3	0.0	0.0	1522.7	C 0.0
P	21.0	603.6	0.0	0.0	40.5	0.0	0.0	665.1	P 0.0
I	25.7	831.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	857.6	I 0.0
-R	0.0	0.0	-13.0	8.1	4.9	0.0	0.0	0.0	-R 0.0
S	-13.7	-427.1	348.9	87.2	4.7	0.0	0.0	0.0	S 0.0
SUM	543.5	5363.7	2259.9	722.1	883.2	665.1	857.6	11295.1	SUM
	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0		
SAC	-1009.9	-5249.6	-754.6	477.0	277.6	0.0	0.0	-6259.5	SAC
CS	577.4	4680.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5258.2	CS
A	46.1	528.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	574.2	A 0.0

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1995.

YIJ	E	M	H	G	F	PR	I	XI	
E	25.3	43.2	22.8	3.0	5.0	0.0	0.0	99.3	E
M	20.6	909.2	546.9	120.0	332.7	0.0	305.4	2234.8	M
H	11.3	372.2	0.0	90.0	0.0	224.0	0.0	636.0	H
G	16.0	112.9	89.2	0.0	22.5	15.7	0.0	256.4	G
F	8.3	109.4	47.3	6.0	0.0	20.0	35.2	226.3	F
C	35.3	791.8	141.3	30.9	15.7	0.0	0.0	1015.0	C
P	8.2	235.7	0.0	0.0	15.8	0.0	0.0	259.7	P
I	10.0	324.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	334.9	I
-R	0.0	0.0	-5.1	3.2	1.9	0.0	0.0	-0.0	-R
S	-5.4	-166.8	382.6	34.1	1.8	0.0	0.0	0.0	S
XJ	99.3	2234.8	636.0	256.4	226.3	259.7	334.9		

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1995.

AIJ	E	M	H	BIJ	E	M	H	
E	0.2548	0.0193	0.0361	E	0.2520	0.0192	0.0361	E
M	0.2074	0.4069	0.8668	M	0.2124	0.4069	0.8668	M
H	0.1141	0.1665	0.0000	H	0.1095	0.1620	0.0000	G
G	0.1613	0.0505	0.1414	G	0.1613	0.0505	0.1414	H
F	0.0838	0.0489	0.0750	F	0.0831	0.0487	0.0750	F
C,S	0.3554	0.3543	0.6064	C,S	0.3526	0.3629	0.6064	C,S
SUM	1.1768	1.0465	1.7258	SUM	1.1709	1.0503	1.7258	SUM

Fig. 41

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1995. 10635.1

ZIJ	E	M	H	G	F	PR	I	SUM	
E	190.1	174.6	99.5	12.7	21.2	0.0	0.0	498.1	E 0.0
M	51.1	2085.5	1345.1	297.9	762.8	0.0	578.6	5120.9	M 0.0
H	41.3	1266.2	0.0	320.5	0.0	555.1	0.0	2183.2	H 0.0
G	67.0	258.8	309.2	0.0	24.9	38.9	0.0	698.8	G 0.0
F	114.3	362.5	171.2	18.0	0.0	49.5	98.3	813.7	F 0.0
C	34.4	973.2	258.2	49.7	4.9	0.0	0.0	1320.4	C 0.0
P	21.9	582.5	0.0	0.0	39.1	0.0	0.0	643.5	P 0.0
I	20.3	656.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	676.9	I 0.0
-R	0.0	0.0	3.0	0.6	-3.7	0.0	0.0	0.0	-R 0.0
S	-7.8	-265.8	261.2	50.4	-37.9	0.0	0.0	0.0	S 0.0
SUM	498.1	5120.9	2183.2	698.8	813.7	643.5	676.9	10635.1	SUM
	0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0		
SAC	-703.1	-3540.9	190.5	86.0	-276.5	0.0	0.0	-4244.0	SAC
CS	446.4	3843.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4290.3	CS
A	36.9	448.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	485.3	A 0.0

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1995.

YIJ	E	M	H	G	F	PR	I	XI	
E	25.3	41.2	23.5	3.0	5.0	0.0	0.0	98.0	E
M	20.6	840.2	541.9	120.0	307.3	0.0	233.1	2063.1	M
H	11.6	355.6	0.0	90.0	0.0	213.9	0.0	612.7	H
G	15.8	104.3	86.8	0.0	24.9	15.0	0.0	246.8	G
F	8.5	120.9	57.1	6.0	0.0	19.1	32.8	244.3	F
C	27.3	650.1	99.5	19.1	1.9	0.0	0.0	797.9	C
P	8.4	224.4	0.0	0.0	15.1	0.0	0.0	247.9	P
I	7.8	252.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	260.8	I
-R	0.0	0.0	1.2	0.3	-1.4	0.0	0.0	0.0	-R
S	-3.0	-102.4	256.7	19.4	-14.6	0.0	0.0	0.0	S
XJ	98.0	2063.1	612.7	246.8	244.3	247.9	260.8		

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1995.

AIJ	E	M	H	BIJ	E	M	H	
E	0.2582	0.0200	0.0382	E	0.2544	0.0199	0.0382	E
M	0.2100	0.4073	0.8828	M	0.2142	0.4075	0.8828	M
H	0.1185	0.1723	0.0000	H	0.1142	0.1677	0.0000	G
G	0.1613	0.0505	0.1414	G	0.1613	0.0505	0.1414	H
F	0.0864	0.0586	0.0930	F	0.0862	0.0594	0.0930	F
C,S	0.2785	0.3151	0.4182	C,S	0.2728	0.3197	0.4182	C,S
SUM	1.1129	1.0238	1.5737	SUM	1.1030	1.0248	1.5737	SUM

Fig. 42

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1995. 9256.9

ZIJ	E	M	H	G	F	PR	I	SUM	
E	156.9	155.0	92.0	11.9	19.9	0.0	0.0	435.7	E 0.0
M	44.1	1829.6	1228.2	274.0	726.2	0.0	399.6	4501.6	M 0.0
H	37.7	1125.0	0.0	320.5	0.0	479.5	0.0	1962.7	H 0.0
G	61.2	227.5	274.4	0.0	22.2	33.6	0.0	618.8	G 0.0
F	106.0	324.0	156.0	18.0	0.0	42.8	67.9	714.8	F 0.0
C	29.9	840.5	212.1	-5.6	-53.5	0.0	0.0	1023.3	C 0.0
P	19.0	503.1	0.0	0.0	33.7	0.0	0.0	555.8	P 0.0
I	14.0	453.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	467.5	I 0.0
-R	0.0	0.0	-23.0	6.7	16.3	0.0	0.0	0.0	-R 0.0
S	-3.2	-116.0	189.2	1.0	-71.0	0.0	0.0	0.0	S 0.0
SUM	435.7	4501.6	1962.7	618.8	714.8	555.8	467.5	9256.9	SUM
	0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0		
SAC	-960.8	-4599.0	-219.3	72.1	147.3	0.0	0.0	-5559.8	SAC
CS	527.2	4186.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4713.9	CS
A	40.1	449.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	489.3	A 0.0

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1995.

YIJ	E	M	H	G	F	PR	I	XI	
E	25.3	39.0	23.2	3.0	5.0	0.0	0.0	95.5	E
M	19.3	801.3	537.9	120.0	318.1	0.0	175.0	1971.7	M
H	10.6	315.9	0.0	90.0	0.0	199.1	0.0	554.2	H
G	15.4	99.6	77.0	0.0	22.2	14.0	0.0	228.2	G
F	7.8	107.8	51.9	6.0	0.0	17.8	22.6	213.9	F
C	32.2	708.1	88.1	-2.3	-22.2	0.0	0.0	803.9	C
P	7.9	208.9	0.0	0.0	14.0	0.0	0.0	230.8	P
I	5.8	188.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	194.1	I
-R	0.0	0.0	-9.5	2.8	6.8	0.0	0.0	0.0	-R
S	-1.3	-48.2	174.8	0.4	-29.5	0.0	0.0	0.0	S
XJ	95.5	1971.7	554.2	228.2	213.9	230.8	194.1		

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1995.

AIJ	E	M	H	BIJ	E	M	H	
E	0.2650	0.0198	0.0425	E	0.2739	0.0197	0.0425	E
M	0.2021	0.4064	0.9876	M	0.2071	0.4066	0.9876	M
H	0.1108	0.1602	0.0000	H	0.1015	0.1540	0.0000	G
G	0.1613	0.0505	0.1414	G	0.1613	0.0505	0.1414	H
F	0.0821	0.0547	0.0953	F	0.0764	0.0544	0.0953	F
C,S	0.3374	0.3591	0.3208	C,S	0.3299	0.3701	0.3208	C,S
SUM	1.1587	1.0508	1.5877	SUM	1.1500	1.0552	1.5877	SUM

Fig. 43

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1995. 9666.7

ZIJ	E	M	H	G	F	PR	I	SUM	
E	141.3	153.9	88.0	10.9	18.2	0.0	0.0	412.3	E 0.0
M	49.9	1877.3	1224.1	266.2	603.1	0.0	587.0	4607.6	M 0.0
H	43.1	1158.3	0.0	320.5	0.0	488.8	0.0	2010.6	H 0.0
G	58.5	232.8	293.7	0.0	34.4	34.2	0.0	653.8	G 0.0
F	87.5	330.0	156.4	11.8	0.0	43.6	99.8	729.1	F 0.0
C	32.0	855.2	248.4	44.3	73.4	0.0	0.0	1253.4	C 0.0
P	20.4	511.9	0.0	0.0	34.3	0.0	0.0	566.6	P 0.0
I	20.7	666.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	686.8	I 0.0
-R	0.0	0.0	65.8	-26.7	-39.0	0.0	0.0	0.0	-R 0.0
S	-9.1	-322.7	314.2	17.6	0.0	0.0	0.0	0.0	S 0.0
SUM	412.3	4607.6	2010.6	653.8	729.1	566.6	686.8	9666.7	SUM
	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0		
SAC	-325.6	-3335.7	839.7	-339.9	-499.8	0.0	0.0	-3661.3	SAC
CS	293.4	3867.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4160.8	CS
A	21.7	403.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	424.9	A 0.0

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1995.

YIJ	E	M	H	G	F	PR	I	XI	
E	25.3	42.4	24.2	3.0	5.0	0.0	0.0	99.9	E
M	22.5	846.3	551.9	120.0	271.9	0.0	264.7	2077.2	M
H	12.1	325.2	0.0	90.0	0.0	218.1	0.0	553.7	H
G	16.1	105.0	82.5	0.0	34.4	15.3	0.0	253.3	G
F	9.9	167.3	79.3	6.0	0.0	19.5	50.6	332.5	F
C	17.9	654.2	110.9	19.8	32.7	0.0	0.0	835.5	C
P	9.1	228.4	0.0	0.0	15.3	0.0	0.0	252.9	P
I	9.3	297.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	306.5	I
-R	0.0	0.0	29.3	-11.9	-17.4	0.0	0.0	-0.0	-R
S	-4.1	-144.0	339.5	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	S
XJ	99.9	2077.2	553.7	253.3	332.5	252.9	306.5		

S.A.M. FOR THE F.R.G. IN 1995.

AIJ	E	M	H	BIJ	E	M	H	
E	0.2533	0.0204	0.0415	E	0.2523	0.0203	0.0415	E
M	0.2253	0.4074	0.9465	M	0.2320	0.4074	0.9465	M
H	0.1211	0.1566	0.0000	H	0.1105	0.1499	0.0000	G
G	0.1613	0.0505	0.1414	G	0.1613	0.0505	0.1414	H
F	0.0987	0.0805	0.1360	F	0.0966	0.0807	0.1360	F
C,S	0.1795	0.3149	0.5822	C,S	0.1865	0.3271	0.5822	C,S
SUM	1.0392	1.0304	1.8477	SUM	1.0393	1.0360	1.8477	SUM

6.2 Case Study Two

Whereas in case study one the highest level decision making was based on single deterministic scenarios, case study two shows the way how to extend the dynamic decision finding process to a stochastic scenario setting. Simultaneously we will be able to explain some of the qualitatively new kinds of questions which multiple criteria closed loop stochastic control is able to answer. The main idea is to introduce the one-sided variance of the utility function as additional objective. This objective can be interpreted as the risk not to achieve the expected utility due to the probabilistic nature of the exogenous variables. Minimizing this objective can be interpreted as looking for risk-narrowing or robust decisions.

Exogenous variables often represent the boundary conditions of the system to be modelled formally. Due to important correlations within the larger system representing the environment of the formalized system, the covariances between such exogenous variables have to be represented in the stochastic scenario setting. The easiest way to achieve this is by defining a set of common scenarios for these stochastic variables and to assign subjective probabilities to these scenarios. In this study the two most important exogenous variables of the foreign trade were chosen as stochastic variables:

- RPFE, the price differentiation of the energy imports relative to the general import price level and
- WHV, the world trade volume.

Fig. 44 shows the set of scenarios for RPFE and the corresponding probabilities.

For an adequate representation of the stochasticity it is desirable to add to the completely correlated scenario variables completely uncorrelated stochastic perturbations. Assuming these stochastic variables to be relatively small, one can make use of the continuous differentiability of the objective functions

with respect to the control parameters and the exogenous variables and can use first order perturbation methods. Getting a meaningful parametrical representation of these uncorrelated dynamic perturbations has to remain the subject of a further study. Instead we will use here the simple scenario type representation of the uncertainty. The main idea behind this representation is not to get the best numeric approximation of the subjective probability distribution but to get good approximations of expectation values and variances derived from the probability distribution.

In stochastic control the deterministic objectives have to be replaced by their expectation values. Using the discrete probability distribution as described above the two objectives of case study one turn into

$$Obj_1 = \sum_{t=T_0}^{T_e} \varphi^{t=T_0} \bar{U}(t)$$

$$\bar{U}(t) = \sum_{i=1}^6 P_i U_i(t)$$

$$Obj_2 = \sum_{t=T_0}^{T_e} \overline{Y_{FM}}(t)$$

$$\overline{Y_{FM}}(t) = \sum_{i=1}^6 P_i Y_{FMi}(t)$$

Here $U_i(t)$ represents the level of utility achieved in the i th scenario as defined in chapter 3 and Y_{FMi} the corresponding imports of energy in real values, $\bar{U}(t)$ and $\bar{Y}_{FM}(t)$ the time dependent expectation values of utility and imports.

Stochastic control allows to introduce qualitatively new types of objectives characterizing the risk not to reach the expectation value due to the uncertainty of exogenous variables. One possibility to quantify the risk is to use a one-sided variance.

$$(6.21) \quad R_1(t) = \sum_i \delta_i P_i (U_i(t) - \bar{U}(t))^2$$

$$\text{with} \quad \delta_i = \begin{cases} 1 & U_i < \bar{U} \\ 0 & U_i \geq \bar{U} \end{cases}$$

$$RSK_1 = \sum_{t=T_0}^{T_e} \rho^{t-T_0} R_1(t)$$

The objective RSK_1 quantifies the risk not to achieve the expected utility due to the uncertainty defined in the stochastic scenario setting. Minimizing this objective means to choose decision alternatives or strategies which minimize the relative loss resulting from the worse cases. It would also make sense to use $\bar{U}(t-1)$ in (6.21).

It is a typical phenomenon of the human species that individual preferences cannot be explained simply as maximization of expectations of values but that the simultaneous minimization of risks has a better chance to describe rational behaviour. This component of human behaviour is called risk aversion or risk narrowing. Depending on the individual human character and the situation

the opposite also occurs. The different attitudes towards risk on the level of individual preferences have their counterpart on the macroeconomic level in different political strategies.

The utility function $\bar{u}(t)$ already contains risk aversion to a certain degree due to the sublinear increase of the logarithms. The additional objective RSK_1 serves to express different degrees of risk aversion of the highest level decision maker. By giving different weights to RSK_1 relative to OBJ_1 different efficient political strategies can be defined analogous to case study one. By using higher moments in equation (6.21) one would be able to come closer to an optimal worst case (or maxi-min) strategy. Since it is impossible to define a meaningful worst case scenario we will stick to the second moment which is known as variance.

In stochastic dynamic control there is a principle difference between the so called closed or open loop control. The difference is whether the control is able to respond to the specific realization of the stochastic exogenous variables or not. The situation of our highest level decision maker has to be characterized as in between. On a shorter time scale he should be modelled as an open loop controller but on a longer time scale his status of information about the system can be described best as one of a closed loop controller. Since our model is a long term one we will treat the decision maker as a closed loop controller with a small information delay.

The closed loop control can be parameterized as one main decision path which is modified by recourses dependent on the specific realizations of the stochastic variables. The number of possible recourses increases with the number of single scenarios. This increase becomes very fast when the assumptions of complete correlation between the different exogenous variables and of complete autocorrelation within the time path of each single stochastic variable are gradually relaxed. In this situation the problem should be simplified as much as possible.

Fig. 45 and 46 show one main decision path and two alternatives (recourses) for each of the control variables used in case study one. In contrast to case study one the control of the investments in the two production sectors starts at 1982. Due to the information delay the recourses are assumed to reach their constant maximum values not before 1988. It was found out that the recourse in cases 1 and 2 could be assumed in good approximation as the negativ of the one in the cases 5 and 6 (as defined in fig. 44).

The first results of the closed loop decision control with consideration of risk aversion point into the direction that the minimization of the risk due to uncertainties in the foreign trade has essentially a similar effect as the minimization of energy imports leading to an autarky scenario as shown in case study one.

More generally we can summarize. Stochastic closed loop control of dynamic systems can be used to search for decisions which are robust in view to the flexibilities within the system or more colloquially which are robust and flexible. As has been explained in case study two three things have to be made clear to define robust and flexible decisions:

- what kind of objectives or properties of the system should be robust
- against what kind of uncertainties the decisions should be robust
- and what kind of flexibilities within the system are taken into account.

Fig. 44

RPFE

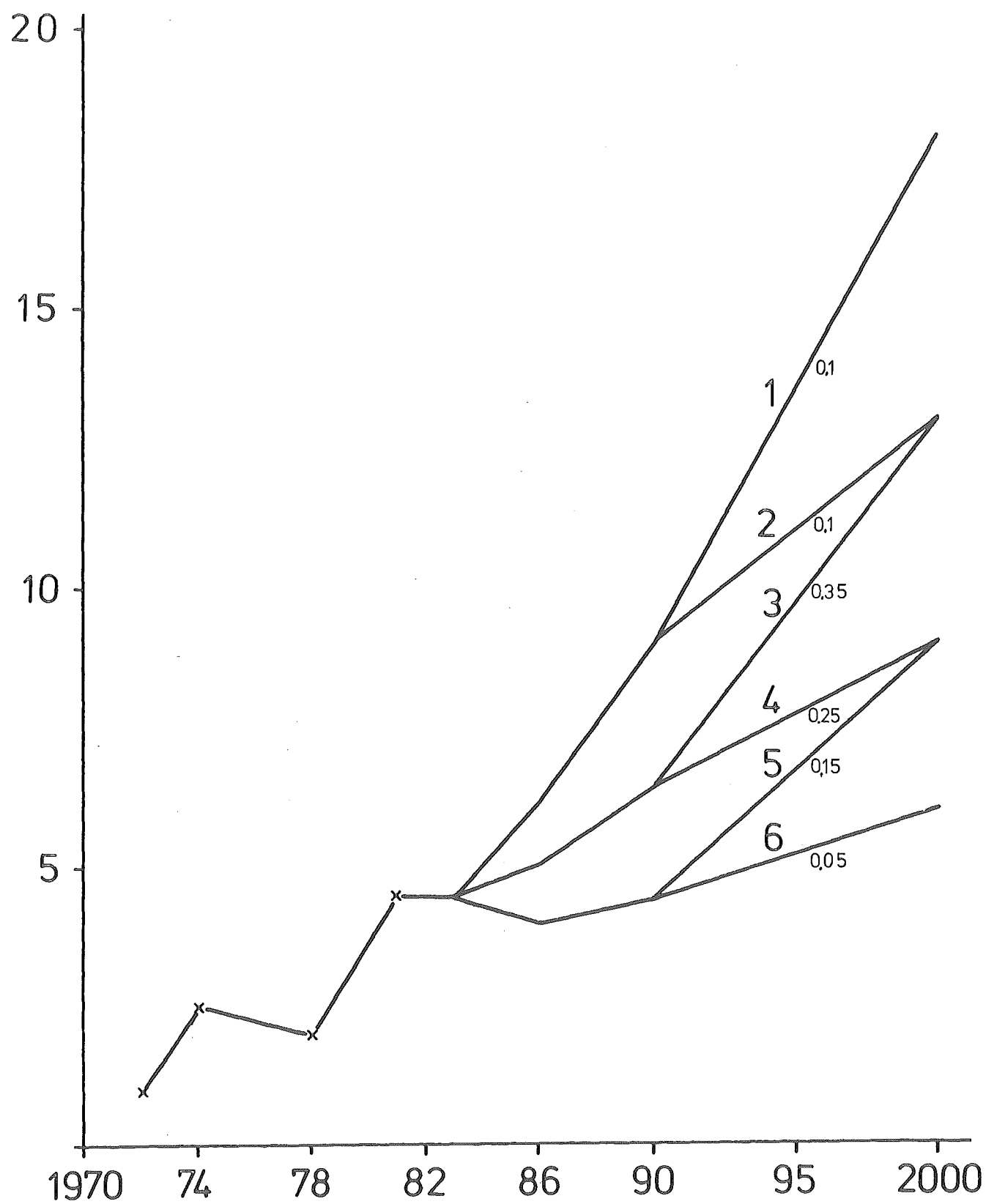
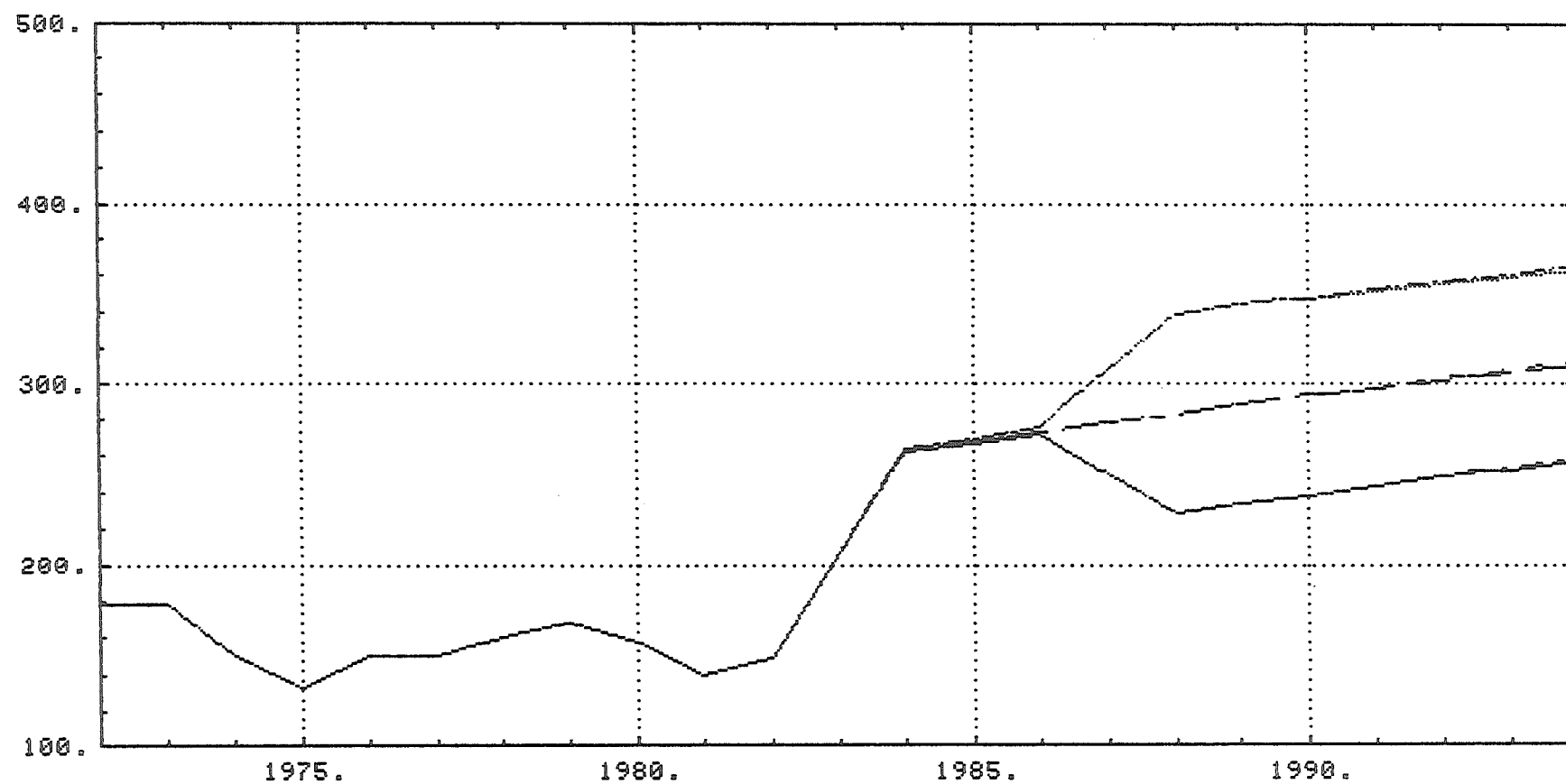
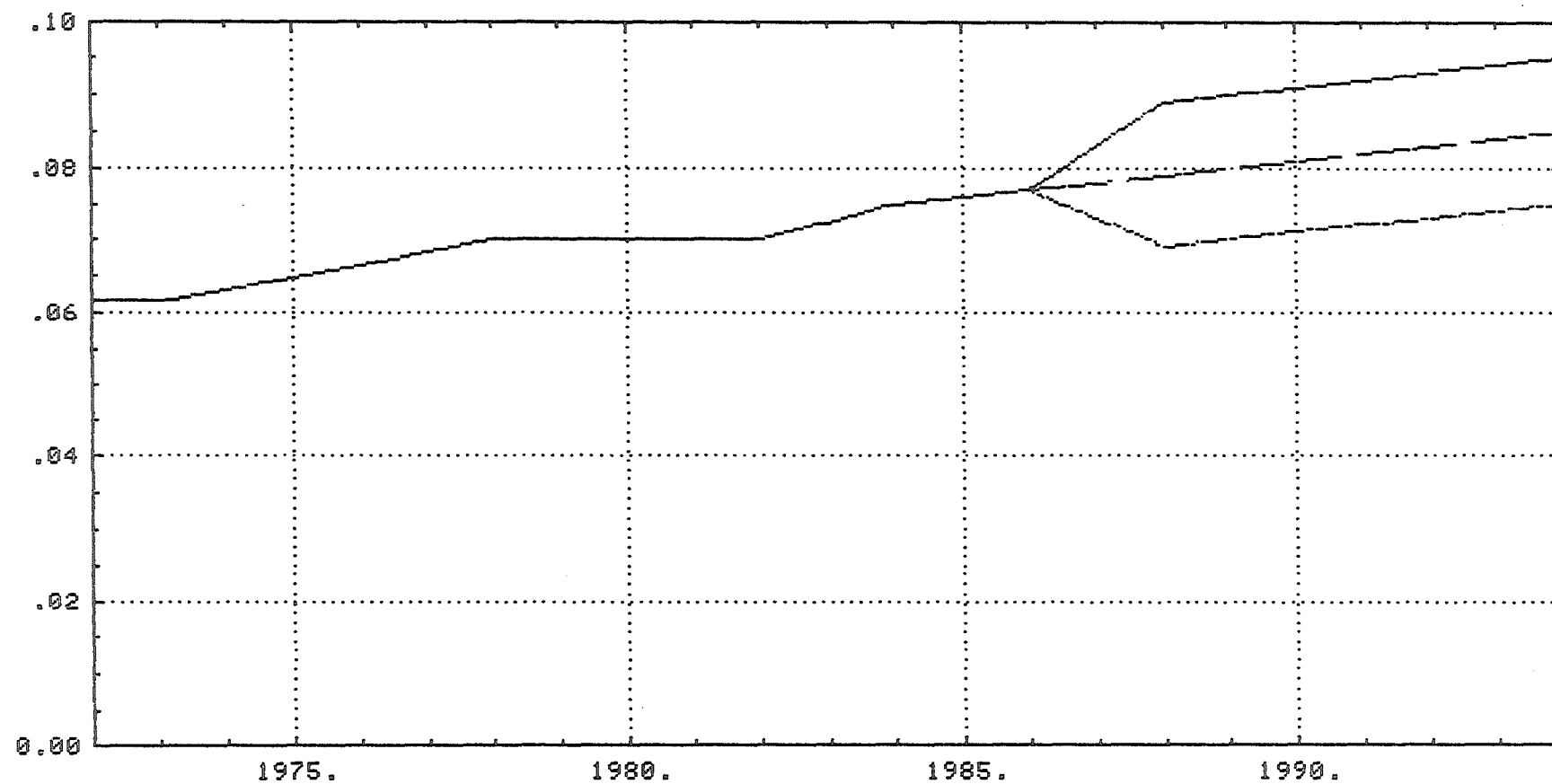


Fig. 45



Total Investments (real) - 10**9 DM72/y

Fig. 46



Investment Share of the Energy Sector

7. Further Developments

The two-sector model so far presented does not claim to be a final product. It should be taken as a first step towards integrated modelling, that means treating simultaneously the domestic demand-supply equilibrium finding process as well as the supranational actions and reactions to national economic policies. Several improvements would be worthwhile to be introduced in the future. Only some of them will be mentioned below.

In order to bring the descriptive capability of the private households sector model to the same level as reached in the production sectors it seems to be necessary to introduce a stock of durable goods like houses, cars, and other long living energy consuming appliances. Taking into consideration the strong complementarity of these goods to the energy demand, this measure would open the way to look for private energy conservation policies and their trade-off to supply-oriented ones. Appropriate macroeconomic representations of the substitution possibilities could be gained from performing disaggregated studies as described in part IV of this study for the space heating of one- and two-family houses.

For some purposes it will be necessary to handle energy production, transformation and transportation technologies more specifically. This could be done by replacing part of the present energy sector description by an activity analysis. Part III of this study demonstrates, how to include modules which determine the optimal power plants and refineries operations. These modules might be formulated either as static Linear Programs /24/ or as non-linear ones /25/, which are solved at every time period. The problem of finding equilibrium solutions to a piecewise linear supply and a continuous non-linear demand function might lead to the necessity to look for new equilibrium algorithms, however /13, 26/.

If one were able to handle endogenously the anticipatory investment behaviour - on the supply as well as on the demand side - the policy finding on the highest, the government's level could be restricted to ask for optimal taxation and subsidization. On the supply side the volume of newly ordered capacities results from the decommissions during the time necessary for planning and construction, and the expected change in final energy demand. The latter depends behaviourally on the past and current trends /27/. By that means one would get more realistic results when asking for responses to future price shocks or import shortenings.

According to the currently dominant opinion that the unemployment problem will not fade out soon, it would be interesting to investigate it on a highly aggregated level as given for the two-sector model. Following a recently discussed hypothesis /28/ one approach could be to distinguish between two classes of investments: those which represent the introduction of production facilities for new products, and those which merely increase the labour productivity. The first class refers to goods with a relatively high marginal utility, the latter to commodities which are approximating their level of saturation. Such a model would leave neoclassical grounds, where a unique equilibrium solution exists. One would have to encounter the existence of regions of instability, bifurcations, and more than one stable but only local equilibria. A punctuated equilibrium model with changing equilibrium conditions triggered by structural instabilities (see Haken /28/) would emphasize the analogy between economic and organic selforganization.

An other type of instability could be the outcome of distinguishing between two or more income levels of the private households, two or more different qualifications of labour force, two or more classes of products for the same purpose but different in quality and price. For instance, the market penetration of a new product and thus an innovation process could be found to depend on the availability of a certain skill and on the income distribution.

To give more attention to the equilibration process itself could be an interesting object of research, too. Instead of looking for an iteration scheme which solves the numerical task most efficiently one might try to handle this ^Atâtonnement process in a behavioural manner. If one were able to do that properly, e.g. by taking into account the information delay times on the one hand and the parallelity of the operating agents' decisions on the other, a more realistic non-equilibrium description of economic phenomena might be revealed. The absolute number of independently operating agents and thus the size of groups of them would be seen to be of importance for the adaptive capability and evolution velocity of economic processes.

Last, not least, one should try to combine the ideas of the two-sector model with those of part I of this study. Two or even more parties, i.e. groups of countries, for each of which a two- or even multi-sectoral representation of their economies are given, one should ask again for long-term bargaining and equilibrium solutions for the international trade. This could help in establishing bi- or multilateral contracts which are economically optimal and - hopefully - increase international stability.

8. References

- /1/ Bretzke, W.R.: Der Problembezug von Entscheidungsmodellen, J.C.B. Mohr, Tübingen, 1980
- /2/ Stein, S.K.: Opinion In, Opinion Out, Technological Forecasting and Social Change 19 (1981), 7 - 14
- /3/ The Global 2000 Report to the President, Blue Angel Inc., Charlottesville, Va., 1981
- /4/ Lazarević, B. (ed.): Global and Large Scale System Models, Springer, Berlin, 1979
- /5/ Majone, G., E.S. Quade: Pitfalls of Analysis, Wiley, Chichester, 1980
- /6/ Forrester, J.W.: Grundzüge einer Systemtheorie, Gabler, Wiesbaden, 1972
- /7/ Findeisen, W. et al.: Control and Coordination in Hierarchical Systems, Wiley, Chichester, 1980
- /8/ Schwefel, H.P., R. Heckler, F. Drepper: Combining Estimation, Simulation and Optimization in Computer-Aided Energy Planning, Angewandte Systemanalyse 2 (1981), 67 - 79
- /9/ Louter, A.S., V. Stern: Modeling and Computer Simulation of Household Behaviour under Taxation, Erasmus University Rotterdam, Internal Paper, 1981
- /10/ Intriligator, M.D.: Mathematical Optimization and Economic Theory, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1971

- /11/ Sato, K.: Production Functions and Aggregation,
North Holland, Amsterdam, 1975

- /12/ Shephard, R.W.: Cost and Production Functions,
Princeton University Press,
Princeton, N.J., 1953 and 1970

- /13/ Ginsburgh, V.A., J.L. Waelbroeck: Activity
Analysis and General Equilibrium Modelling,
North Holland, Amsterdam, 1981

- /14/ Reister, D.B., J.A. Edmonds: A General
Equilibrium Two-Sector Energy Demand Model,
in C.J. Hitch (ed.): Modeling Energy-Economy Interactions: Five
Approaches, Resources for the Future, Washington, D.C., 1977

- /15/ Hudson, E.A., D.W. Jorgenson: US Energy Policy
and Economic Growth, 1975 - 2000, The Bell Journal of
Economics and Management Science, 5 (1974), 461 - 514

- /16/ Taylor, L.: Macro Models for Developing
Countries, McGraw-Hill, New York, 1979

- /17/ Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland
1950 - 1980, Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Energie-
bilanzen, Düsseldorf

- /18/ Statistische Jahrbücher für die Bundesrepublik
Deutschland 1962 - 1981, Hrsg.: Statistisches
Bundesamt, Wiesbaden

- /19/ Pischner, R., R. Stäglin, H. Wessels: Input-Output
Rechnung für die Bundesrepublik Deutschland
Hrsg.: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin

- /20/ Stobbe, A.: Volkswirtschaftslehre I, Springer
Berlin, 1980 (5. Aufl.)

- /21/ Kopf, J., R. Kern, G. Schmidt: Volkswirtschaftliche
Basisdaten, Campus, Frankfurt, 1980

- /22/ Schwefel, H.P.: Numerical Optimization of
Computer Models, Wiley, Chichester, 1981

- /23/ Merz, J.: Die Ausgaben privater Haushalte,
Campus, Frankfurt, 1980

- /24/ Kydes, A.S., J. Rabinowitz: Overview and Special
Features of the Time-Stepped Energy System Optimization
Model (TESOM), Resources and Energy 3 (1981), 65 - 92

- /25/ Programme RETINE - Manuel de l'Utilisateur, Ecole
Polytechnique Fédérale, Lausanne

- /26/ Daniel, T.E., H.M. Goldberg: Dynamic Equilibrium
Modeling: The Canadian BALANCE Model, Operations
Research 29 (1981), 829 - 852

- /27/ Codoni, R., B. Fritsch (eds.): Capital Requirements of
Alternative Energy Strategies (Project ZENCAP),
Institut für Wirtschaftsforschung, ETH Zürich, Sept. 1980

- /28/ Mensch, G. as quoted in : Haken, H.: Synergetics, An
Introduction, Springer, Berlin, 1978

TEIL III

EIN TECHNOLOGISCH DESAGGREGIERTER ANSATZ ZUR BEHANDLUNG
DES PREIS-/KOSTENABHÄNGIGEN GLEICHGEWICHTS ZWISCHEN
ENERGIENACHFRAGE UND -ANGEBOT

R. Heckler

Betrachtungen über die Entwicklung von Preisen und Angebotsmengen auf dem Energiemarkt lassen häufig die wechselseitigen Beziehungen zwischen der Nachfrage und dem Angebot, bestimmt durch das Verhalten der Konsumenten und Produzenten, außer acht. Unter dem Begriff "General Equilibrium" (allgemeines Gleichgewicht) wird in diesem Beitrag ein Modell skizziert, das gleichzeitig die Preis- und Mengenbeziehungen für konkurrierende und komplementäre Energieträger darzustellen versucht.

Unter dem von Cazalet /1/ geprägten Begriff "Generalized Equilibrium Modeling" werden eine Vielzahl von Modellierungstechniken zusammengefaßt, die man als ein methodisches Konzept begreifen kann, komplexe Entscheidungsprobleme in einfach strukturierte Teilprobleme zu gliedern (Dekomposition) und alle wichtigen Beziehungen als Gleichungen zu formulieren.

Konsistente Lösungen für das Gesamtsystem im Sinne der Koordination der Teilsysteme lassen sich mit Hilfe eines einfachen Algorithmus für nichtlineare Gleichungssysteme bestimmen. Marktmechanismen kann man nicht adäquat durch ein einzelnes Optimierungskriterium beschreiben, weil die Ziele auf der Ebene der verschiedenen Subsysteme nicht gleich sind, oft sogar in Konflikt zueinander stehen.

Jedes Subsystem repräsentiert die ökonomische Handlungsweise einer selbständigen am Marktmechanismus beteiligten Wirtschaftseinheit und wird in Form eines mathematisch einfach strukturierten Modells, d.h. ein Satz von Gleichungen, darstellt.

Dabei wird zwischen zwei Arten von Modellbeziehungen unterschieden.

1. physikalische Beziehungen, die die Mengenflüsse (hier Energiemengen) zu jedem Zeitpunkt im Sinne einer Mengenzu- und abfuhrbilanz beschreiben und bei dynamischen Modellen zusätzliche Beziehungen zwischen Größen verschiedener Zeitpunkte (z.B. Lagerhaltung).
2. Verhaltensbeziehungen, die das Verhalten der ökonomischen Handlungsträger auf Grund von Preis- und Kosteninformationen beschreiben.

Da sie sich zum Teil aus Optimalitätskriterien (Nutzen, Kosten) herleiten lassen, kann man die Verhaltensgleichungen als notwendige Bedingungen für optimale Entscheidungen der Teilsysteme auffassen. Läßt sich aber eine Extremalbedingung nicht in einer analytisch geschlossenen Form definieren, muß ein iteratives Verfahren gewählt werden.

Mit Hilfe eines geeigneten Lösungsalgorithmus ist schließlich ein Satz von Variablen, gewöhnlich in Form von Preisen und Mengen zu finden, der sowohl die physikalischen als auch die Verhaltensrelationen befriedigt. Diesen Lösungsvektor kann man dann als Gleichgewichtslösung bezeichnen.

In einem Wirtschaftsgefüge lassen sich nun eine ganze Reihe von Kriterien anführen, die anzustreben nicht primäres Interesse eines dem Marktmechanismus unterworfenen ökonomischen Handlungsträgers (Konsument, Produzent) ist. Diese ergeben sich vielmehr aus der politischen Zielsetzung eines übergeordneten Entscheidungsträgers. So besteht z.B. ein unmittelbares Interesse der Regierung an der langfristigen Sicherung der Energieversorgung sowie an der Stabilisierung der Wirtschaft gegenüber kurzfristigen Schwankungen und Engpässen. Dazu bedient sich die

öffentliche Hand u.a. einer Reihe fiskalischer und ordnungspolitischer Maßnahmen, so z.B.:

- Einfuhrabgaben
- Förderabgaben
- Verbrauchssteuern
 - Mineralölsteuer
 - Kohlepfennig
- Subventionen
 - Kokskohlenbeihilfe
 - Investitionszulage bei neuen Technologien
- Gesetze
 - Erdölbevorratungsgesetz
 - Verstromungsgesetz

Diese Instrumente lassen sich als Entscheidungsvariablen formulieren zur Optimierung volkswirtschaftlich sinnvoller Zielkriterien wie z.B. der Minimierung der Ölimporte oder der Maximierung des Wohlstands, die nicht notwendigerweise zum gleichen Ergebnis wie die Kosten- bzw. Nutzenoptimierung der einzelnen Sektoren führen.

Das im folgenden dargestellte partielle Gleichgewichtsmodell soll in erster Linie einen Weg aufzeigen zu einem besseren Verständnis der Wirkungen staatlicher Eingriffe in den (Energie-) Marktmechanismus, und in zweiter Linie herausfinden, in welcher Form fiskalische und ordnungspolitische Maßnahmen zur Erreichung der oben genannten Ziele angebracht sind. So repräsentiert das Modell folgende drei ökonomische Handlungsträger in einer hierarchischen Anordnung

1. die privaten Haushalte
2. die Elektrizitätswirtschaft (Kraftwerke)
3. die Mineralölverarbeitung (Raffinerie).

Da der Aggregationsgrad des Modells so gewählt ist, daß er die nationale Ebene darstellt, umfassen auch die Entscheidungsträger die nationalen Aktivitäten. D.h. der Sektor der privaten Haushalte stellt das Verhalten des durchschnittlichen privaten Haushalts dar. Die Mineralölverarbeitung wird in Form einer Raffinerie beschrieben und die Elektrizitätswirtschaft wird durch zwei Kraftwerkstypen repräsentiert.

Die privaten Haushalte auf der untersten Ebene fragen von der Raffinerie Mineralölprodukte (M) nach und von der Elektrizitätswirtschaft Strom (E). Sie maximieren ihren Nutzen unter Einhaltung ihres Budgets. Das heißt, sie reagieren auf Preisänderungen durch Anpassung der nachgefragten Mengen.

Die Elektrizitätswirtschaft setzt zur Stromerzeugung für die Steinkohlenkraftwerke heimische Steinkohle (K) ein und nimmt der Raffinerie schweres Heizöl (N) zum Einsatz in die Heizölkraftwerke ab. Dabei sollen sie kostenminimierend die Nachfrage decken.

Die Raffinerie importiert Rohöl (O) zur Weiterverarbeitung und bezieht dazu von der Elektrizitätswirtschaft Strom. Hierbei ist eine gewinnmaximierende Preisgestaltung angenommen.

Während die Energieträger auf der Nachfrageseite substitutiv (z.B. wegen der Budgetrestriktion der privaten Haushalte) auftreten, stehen sie auf der Erzeugungsseite auf Grund der Kuppelproduktion in komplementärer Beziehung zueinander.

Unter dem Gesichtspunkt dieses Strukturgegensatzes ist zu untersuchen, wie die zuvor genannten volkswirtschaftlich sinnvollen Kriterien angestrebt werden können.

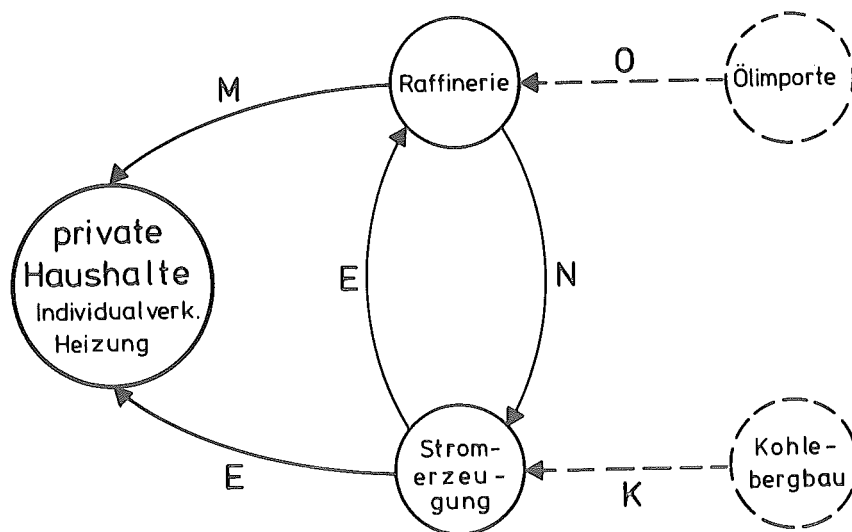


Abb. 1: Das Mengensystem

Der Ausstoß O (Output) eines Prozesses läßt sich definieren als Produkt aus der installierten Kapazität C (capacity) und der Auslastung LF (load factor)

$$O = C \cdot LF$$

Bei einem Langfristmodell kann man die Frage nach der erforderlichen Erzeugung in zwei Teilprobleme separieren.

1. Welche Auslastung bei gegebener installierter Kapazität stellt sich zur Deckung der preisabhängigen Nachfrage ein? Dies führt zu einem statischen Problem (Einsatzoptimierung), das zu jedem Modellzeitpunkt neu zu lösen ist. Die Möglichkeit einer Ersatz- oder Rationalisierungsinvestition wird hier nicht betrachtet.
2. Welche Anlagenkapazität ist erforderlich bei angenommener optimaler Auslastung?
Diese Frage nach dem Kapazitätsausbau führt zu einem dynamischen Problem, da die Entscheidung für Kapazitätserweiterungen und die Verfügbarkeit nicht auf denselben Zeitpunkt fallen. Planungs- und Bauzeiten im Energiesektor betragen heute bis zu 15 Jahren.

Bei dem derzeitigen Modellstand ist die Frage nach der optimalen Kapazität, die zur Investitionsproblematik führt, zunächst ausgeklammert.

Der Haushaltssektor

Das Modell der privaten Haushalte stellt die budget- und preisabhängige Nachfrage nach verschiedenen Energieträgern dar. Diese werden genutzt zum Zweck der Raumheizung (Q_H) und des Personenindividualverkehrs (Q_T). Da zunächst weder die übrigen Ausgaben noch das Sparen der Haushalte Berücksichtigung finden, wird das exogen festgesetzte Budget für diese beiden Zwecke zu jedem Zeitpunkt vollständig ausgegeben. Außer von diesem Budget B hängen die Größen Q_i noch von den Preisen P_H und P_T ab:

$$Q_i = f(P_T, P_H, B) \quad i = \{T, H\}$$

Entsprechend der neoklassischen Theorie der Haushalte /2/ lassen sich die Nachfragefunktionen aus einer Nutzenfunktion $U(Q_H, Q_T)$ ableiten. Dabei wird vorausgesetzt, daß der Nutzen maximiert wird unter Einhaltung einer Budgetrestriktion

$$B = P_T \cdot Q_T + P_H \cdot Q_H = g(Q_T, Q_H)$$

Die notwendigen Bedingungen für das Nutzenmaximum des restringierten Problems

$$\max \{ U(Q_T, Q_H) / g(Q_T, Q_H) = B \}$$

bzw. des nach Einführen eines Lagrange'schen Multiplikators λ entstehenden Ersatzproblems lauten:

$$\frac{\partial}{\partial Q_i} \{ U - \lambda (g - B) \} = 0 \quad ; i = \{T, H\}$$

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} \{ U - \lambda (g - B) \} = 0$$

Den Multiplikator λ kann man als Steigungsverhältnis interpretieren:

$$\lambda = \frac{\partial U / \partial Q_H}{\partial g / \partial Q_H} = \frac{\partial U / \partial Q_T}{\partial g / \partial Q_T}$$

Als Nutzenfunktion wurde hier eine vom CES- (Constant Elasticity of Substitution) Typ gewählt:

$$U = U_0 \cdot \{ \vartheta \cdot Q_T^\gamma + (1 - \vartheta) \cdot Q_H^\gamma \}^{\frac{1}{\gamma}}$$

$$U_0 > 0; \quad -\infty < \gamma < 0; \quad 0 < \vartheta < 1$$

Im Hinblick auf die Wahl der Nutzenfunktion sei angemerkt, daß es sich hier um keinen individuellen Haushalt, sondern um die Gesamtheit der Haushalte handelt.

Als Lösung der drei oben genannten Bestimmungsgleichungen bei Verwendung der CES-Funktion erhält man folgenden Terme:

$$Q_T = \frac{B}{P_T (1 + A)}; \quad Q_H = \frac{B}{P_H (1 + \frac{1}{A})}$$

mit

$$A = \left(\frac{\vartheta}{1 - \vartheta} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \cdot \left(\frac{P_H}{P_T} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

Die Tangentialpunkte der Isonutzenkurven $U = \text{const.}$ mit der Budgetgeraden stellen den optimalen Verbrauch (Q_T, Q_H) bei gegebener Preisrelation dar. Abbildung 2 zeigt drei Isonutzenkurven, die die Budgetgerade an verschiedenen Punkten berühren. Hierbei wurde ϑ konstant gehalten und γ variiert.

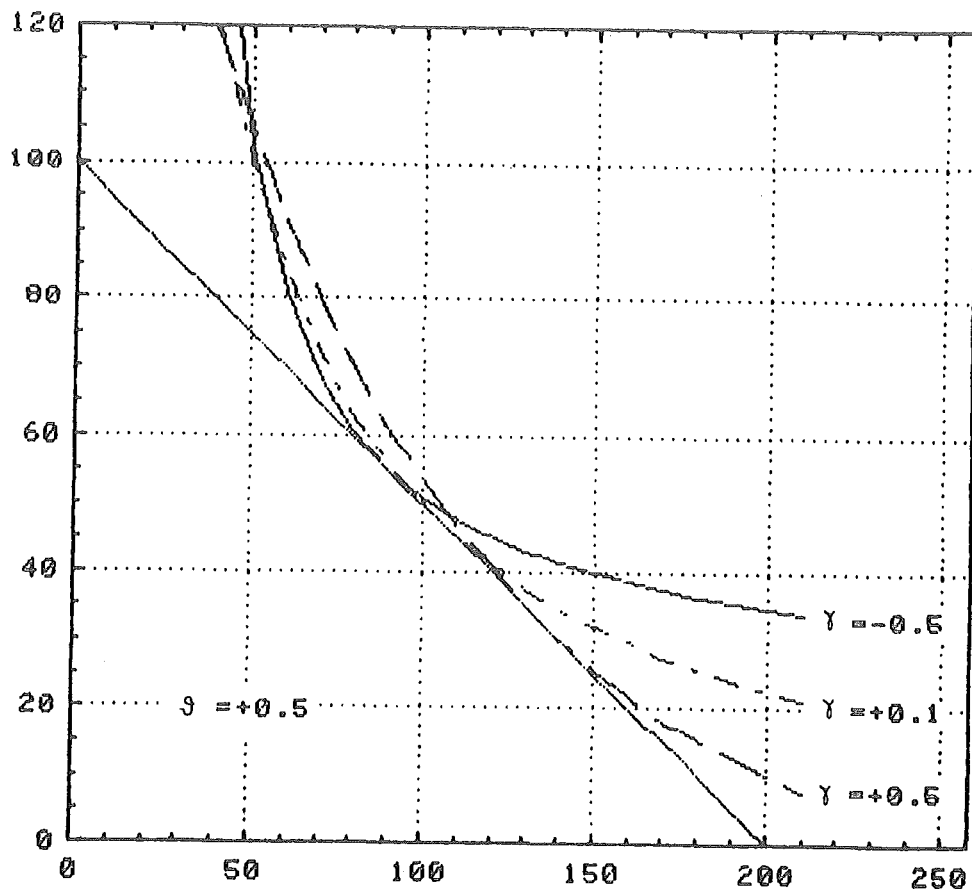


Abb. 2: Budgetgerade mit drei Isonutzenkurven

Da zur Deckung der Verkehrsleistung zwei als vollständig substituierbar angenommene Systeme abgebildet sind, die die Energieträger Benzin (B) bzw. Dieselkraftstoff (D) benötigen, läßt sich die Größe Q_T wiederum als eine Funktion der nachgefragten Benzinmenge q_B und der Dieselmengen q_D darstellen. Diese Beziehung wurde ebenfalls als CES-Funktion angesetzt.

$$Q_T = (\delta \cdot q_B^\rho + (1 - \delta) q_D^\rho)^{\frac{1}{\rho}}$$

Das gleiche Verfahren wurde gewählt bei der Darstellung der Nachfrage für die Raumheizung. Hier werden als Energieträger eine leichte Heizölmenge (q_m) und eine Strommenge (q_E) nachgefragt

$$Q_H = (\alpha \cdot q_m^\beta + (1 - \alpha) q_E^\beta)^{\frac{1}{\beta}}$$

Der Teilnutzen Q_T bzw. Q_H ist zu maximieren unter der Restriktion des Teilbudgets für Verkehrszwecke $B_T = Q_T \cdot P_T = q_B \cdot p_B + q_D \cdot p_D$ bzw. des Teilbudgets für Heizzwecke $B_H = Q_H \cdot P_H = q_M \cdot p_M + q_E \cdot p_E$. Adäquat haben die Lösungen für (q_B, q_D) bzw. (q_M, q_E) die gleiche mathematische Gestalt wie die Lösung für (Q_T, Q_H) . Erst daraus läßt sich der mittlere Preis für Verkehrs- und Heizzwecke bestimmen.

$$p_T = \frac{q_B \cdot p_B + q_D \cdot p_D}{q_B + q_D} ; \quad p_H = \frac{q_M \cdot p_M + q_E \cdot p_E}{q_M + q_E}$$

Mit Hilfe der mittleren Preise p_T, p_H lassen sich dann die jeweiligen Budgetanteile errechnen.

$$B_T = Q_T \cdot P_T ; \quad B_H = Q_H \cdot P_H$$

Die auf analytischem Weg hergeleiteten notwendigen Optimalitätsbedingungen, die aufgrund der Art der gewählten Nutzenfunktion auch hinreichend sind, stellen ein System gekoppelter nicht-linearer Gleichungen dar, das nur iterativ gelöst werden kann.

Der Raffineriesektor

Das hier beschriebene Raffineriemodell entspricht in seiner Struktur weitgehend dem Raffineriesektor des in /3/ dokumentierten "Energieversorgungsmodells zur Langfristprognose der Umwandlungskapazitäten".

Entsprechend der Nachfrage wurden als Endprodukte nur die drei Energieträger

- | | |
|-------------------|-----|
| 1 Benzin | (B) |
| 2 leichtes Heizöl | (M) |
| 3 schweres Heizöl | (N) |

betrachtet. Ausgangsprodukt ist Rohöl (O), das in der Rohölverarbeitung (D) in die drei Fraktionen B, M und N destilliert werden kann. Während das Benzin und das leichte Heizöl von den privaten Haushalten nachgefragt wird, besteht für das schwere Heizöl nur Verwendung zur Stromerzeugung oder zur Weiterverarbeitung in der Raffinerie. Schweres Heizöl (bzw. Rückstandsöl) kann noch durch nachgeschaltete Konversionsanlagen (Kracker) in eben dieselben Produkte (B, M, N) zerlegt werden (Abb. 3). Dabei wird nach folgenden fünf Krackertypen C_j^C unterschieden;

- 1 Katalytische Kracker
- 2 Hydrokracker
- 3 allgemeine thermische Kracker
- 4 Visbreaker
- 5 Koker

Die Kapazitätswerte für die Rohölverarbeitung C^D und die Konversionsanlagen C_j^C beziehen sich stets auf den Einsatz an Rohöl bzw. Rückstandsöl bei den Crackern und werden in Mio t/a angegeben.

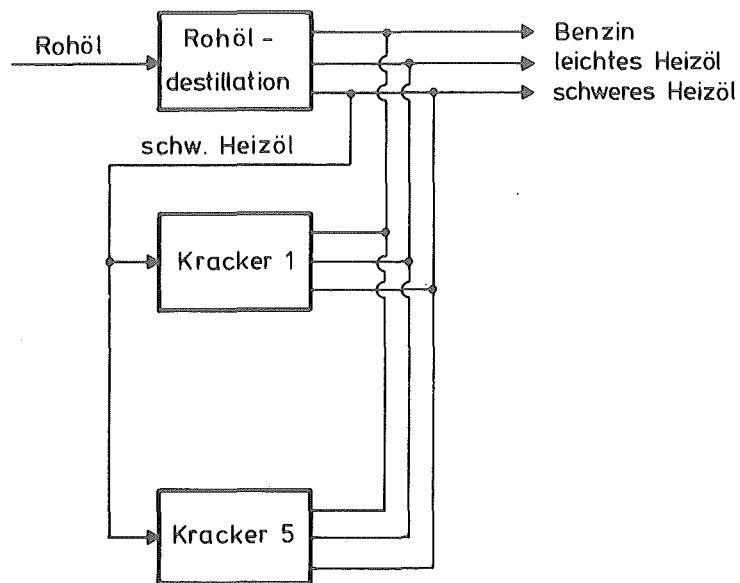


Abb. 3: Raffineriestruktur

Der Raffinerieprozeß insgesamt läßt sich also durch sechs Einzelprozesse mit festem Verhältnis zwischen Einsatz- und Ausbringungsmengen darstellen. Konvexkombination dieser reinen Prozesse führen zu einem gemischten Prozeß. Aus diesem Grunde spricht man von einer linearen Technologie, die sich in Form eines linearen Optimierungsprogramms formulieren läßt.

Da beim Kracken mehrere Prozesse zur Verfügung stehen, bei denen die Produkte gleichzeitig in unterschiedlichen Ausbeuteverhältnissen anfallen, lassen sich durch geeignete Prozeßkombination bestimmte Relationen für das Produktspektrum der Raffinerie erzielen. Dies wird als Kuppelproduktion mit variabler Koppelung bezeichnet.

Voraussetzung für die mathematische Formulierung des Raffinerieprozesses in Form eines Linearen Programms ist die Wahl eines geeigneten Zielkriteriums. Hier auf der technologischen Ebene bietet sich insbesondere das Kostenkriterium an. D.h. gesucht ist die Einsatzmengenkombination (Einsatzplanung), die bei vor-

gegebener Ausbringungsmenge minimale Betriebskosten verursacht (Minimalkostenkombination).

Die einzelnen Ausbringungsmengen werden beschränkt durch die Kapazitäten der Anlagen. So gilt für die Menge des zu verarbeitenden Rohöls Q^D :

$$C^D \geq Q^D$$

Für die Konversionsanlagen gelten die entsprechenden Kapazitätsrestriktionen, wobei Q_j^C die Einsatzmenge schweren Heizöls in den Cracker vom Typ j darstellt.

$$C_j^C \geq Q_j^C \quad \text{für } j = 1, \dots, m$$

Die Menge an schwerem Heizöl zum Einsatz in die Konversionsanlagen wird restringiert durch die bei der Rohöldestillation anfallende Menge. D.h. der Zukauf von schwerem Heizöl wird ausgeschlossen.

$$a_3 \cdot Q^D \geq \sum_{j=1}^m Q_j^C$$

a_3 stellt den Ausbeute- oder Ausbringungsfaktor für schweres Heizöl bei der Rohölverarbeitung dar. Die folgenden Bilanzgleichungen stellen sicher, daß der verlangte Ausstoß X_i für $i = 1, 2, 3$ bei jeder Prozeßkombination gewährleistet ist.

Eine Anpassung der Mengen ist dadurch gegeben, daß für jeden Energieträger $i = 1, 2, 3$ im Falle einer zu geringen Kapazität die Differenzmenge Z_i zugekauft (importiert) werden kann. Im Falle einer Überschußproduktion wird die überschüssige Menge L_i auf Lager gelegt (für jeweils eine Zeitperiode).

Bilanzgleichungen:

$$a_1 \cdot Q^D + \sum_{j=1}^m b_{1,j} \cdot Q_j^C + Z_1 \geq X_1 ; \quad \text{für } i=1,2$$

$$a_1 \cdot Q^D + \sum_{j=1}^m b_{1,j} \cdot Q_j^C - L_1 \leq X_1 ; \quad \text{für } i=1,2$$

$$a_3 \cdot Q^D + \sum_{j=1}^m (b_{3,j} - 1) \cdot Q_j^C + Z_3 \geq X_3$$

$$a_3 \cdot Q^D + \sum_{j=1}^m (b_{3,j} - 1) \cdot Q_j^C - L_3 \leq X_3$$

Die Koeffizienten $b_{i,j}$ stellen die ausgebrachte Menge des Energieträgers i für den Konversionsprozeß j dar.

Umwandlungsverluste werden durch einen fiktiven Energieträger $i = 4$ berücksichtigt, so daß für jeden Prozeß j gilt:

$$\sum_{i=1}^4 b_{i,j} = 1$$

Mit den Entscheidungsvariablen Q^D, Q_j^C ($j = 1, \dots, m$), Z_i, L_i ($i = 1, \dots, n$) hat die Zielfunktion K folgende Gestalt:

$$K = k^D \cdot Q^D + \sum_{j=1}^m k_j^C \cdot Q_j^C + \sum_{i=1}^n k_i^Z \cdot Z_i + \sum_{i=1}^n k_i^L \cdot L_i$$

Der Kostenkoeffizient k^D beinhaltet die Rohöl-Importpreise und die Verarbeitungskosten der ersten Stufe. k_j^C sind die Umwandlungskosten pro Einheit bei den Konversionsanlagen.

k_i^Z stellen die Importpreise dar und

k_i^L Kosten pro Einheit fallen an bei der Lagerlegung der überschüssigen Produkte.

Der Übersichtlichkeit halber ist das LP-Problem noch einmal in Matrix-Form dargestellt.

Q^D	Q^C	Z	L		RHS
-1				\geq	$-C^D$
	$-e_j^T$			\geq	$-C_j^C$
a_i^T	$b_{i.}^T$	e_i^T		\geq	X_i
$-a_i^T$	$-b_{i.}^T$		e_i^T	\geq	$-X_i$
a_3^T	$(b_{3.} - 1)^T$	e_3^T		\geq	X_3
$-a_3^T$	$-(b_{3.} - 1)^T$		e_3^T	\geq	$-X_3$
\leq	\leq	\leq	\leq		$= \max$
K^D	K^C	K^Z	K^L	$= \min$	

Die Größen e und e' sind Einheitsvektoren im E^5 bzw. E^3 .

Die in einer Periode auf Lager gelegten Produkte L_i werden in der nächsten Periode insofern berücksichtigt, daß die Nachfrage Q_i bei der Einsatzplanung der Konversionsprozesse entsprechend reduziert wird:

$$X_i = Q_i - S_i \quad \text{für} \quad i = 1, 2, 3$$

Der Lagerbestand S_i wird als eine integrale Funktion über der Zeit dargestellt:

$$S_i(t) = S_i(t-1) + (L_i(t) - R_i(t))$$

wobei R_i die Lagerentnahme zu jeder Zeitperiode angibt:

$$R_i = Q_i - X_i$$

Die zeitliche Veränderung der Kapazitäten C_j für die Raffinerieprozesse wird bei dem derzeitigen Stand des Modells exogen gesteuert, indem die Brutto-Neubaukapazitäten vorgegeben werden. D.h. die Kapazität im Jahre (t) entspricht der Kapazität des Vorjahres $(t-1)$ vermehrt um die Brutto-Neubauten CN im Jahre (t) und vermindert um die Stilllegungen CD im Jahre (t) .

$$C_j(t) = C_j(t-1) + CN_j(t) - CD_j(t)$$

Die Stilllegungen ergeben sich aus der Lebensdauer und den Brutto-Neubauten der Vergangenheit. Die Frage nach den neu zu errichtenden Kapazitäten führt zu dem Problem der Investitionsentscheidung. Eine wichtige Größe, die für die Betriebskostenminimierung keine Bedeutung hat, aber bei der Produktpreisgestaltung und der Investitionsplanung von Bedeutung ist, ist der Quotient aus dem Einsatz und der Kapazität und wird als Auslastung LF (load factor) bezeichnet.

$$LF_j = Q_j / C_j$$

Bei der Darstellung des Anbieterverhaltens wurde ein mehrstufiges Verfahren gewählt. So wurde auf der untersten Entscheidungsebene die kostengünstigste Produktionsalternative gesucht, während auf der nächsten Stufe bei vorgegebenen Ausbringungsmengen die kostenminimale Einsatzkombination bestimmt wird, um bei entsprechender Produktpreisgestaltung eine gewinnmaximale Ausbringung zu erzielen.

Dabei lassen sich unterschiedliche Zielkriterien definieren, z.B. die Absatzpolitik auf eine Maximierung des Umsatzes bei einer konstanten Profitrate auszurichten.

Zur Wahl der Absatzpolitik müssen die produzierten Mengen X_i mit vorgegebenen Preisen p_i gewichtet werden. Die Erlöse sind gegeben durch:

$$E = \sum_{i=1}^n x_i p_i$$

Die Gewinne G sind dann definiert als Differenz zwischen Erlösen und Kosten.

$$G = E(X_1, X_2, X_3) - K(X_1, X_2, X_3)$$

Der Gewinn erreicht sein Maximum, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

$$\frac{\partial E_i}{\partial x_i} = \frac{\partial K(x_1, x_2, x_3)}{\partial x_i} \quad \text{für } i = 1, 2, 3$$

Während sich der Gesamterlös E nach den Einzelerlösen $E(X_1)$, $E(X_2)$ und $E(X_3)$ aufteilen läßt, ist eine Differenzierung der Gesamtkosten nach den einzelnen Produkten nicht gegeben, aufgrund der kostenmäßigen Verflechtung im Falle der Kuppelproduktion bei variablen Relationen.

Die duale Lösung des LP-Problems liefert Information darüber, wie sich die Gesamtkosten bei Variation der Ausbringungsmengen verändern. So lassen sich die dualen Variablen als Grenzkosten (Schattenkosten) interpretieren.

Die Deutung der Grenzkosten als Energiepreise, führt zu folgendem Problem. Aufgrund der linearen Abbildung der Technologien sind die Grenzkosten nämlich stückweise konstant und verändern sich diskontinuierlich, sobald eine Kapazitätsrestriktion greift. Wenn die Nachfragekurve die Angebotskurve zwischen zwei Preisen schneidet, springt die Gleichgewichtslösung zwischen diesen beiden Eckpunkten hin und her. Dieser Effekt wird als 'marginal cost limit cycle' bezeichnet /4/.

Um unendlich viele Gleichgewichtslösungen mit beliebig hohen Kosten ausschließlich, d.h. der Lösungsalgorithmus divergiert, orientiert sich die Preisbildung am exogen vorzugebenden Kohlepreis. Eine Reihe von Fragestellungen ergeben sich hinsichtlich der Sensitivität des Kohlepreises gegenüber Änderungen der Zielfunktion im Hinblick auf den Anteil an der Verstromung.

Dynamische Aspekte treten dadurch auf, daß Lagerhaltung unter Einbeziehung der Kosten zu einer Marktglättung führen und dadurch die Klasse der Lösungen erheblich vergrößern.

Literaturverzeichnis

- /1/ Cazalet, G.: Generalized Equilibrium
 Modeling: The Methodology of the
 SRI-Gulf Energy Model
 Decision Focus, Inc.; Palo Alto May 1977
- /2/ Intriligator, M.: Mathematical Optimization
 and Economic Theory
 Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 1971
- /3/ Lenhardt, W., H.P. Schwefel, D. Sievert:
 Ein Energieversorgungsmodell zur Langfristprognose
 der Umwandlungskapazitäten
 KFA-Jül-Spez-63, Jülich, Dez. 1979
- /4/ Reister, D.B., J.A. Edmonds:
 A General Equilibrium Two-Sector Energy
 Demand Model in C.J. Hitch (ed.):
 Modeling Energy-Economy Interactions:
 Five Approaches; Resources for the Future,
 Washington, D.C., 1977

TEIL IV

BESTIMMUNGSGRÖSSEN DES RAUMHEIZBEDARFS IN
EIN- UND ZWEIFAMILIENHÄUSERN UND IHRE
BEWERTUNG UNTER MEHRFACHER ZIELSETZUNG

E. HÖPFINGER, R. HECKLER, H.-P. SCHWEFEL, H. HORST

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung
2	Grundlagen
2.1	Bestimmungsgrößen des Energieverbrauchs für Raumheizung
2.2	Bestimmungsgrößen der investiven Maßnahmen für Raumheizung
3	Umfrage in der Programmgruppe Systemforschung und technologische Entwicklung (STE)
4	Das Nachfragemodell
4.1	Schichtung der Haushalte in den Ein- und Zweifamilienhäusern
4.2	Jahresverbrauch an Raumwärmeenergie
4.3	Investive Maßnahmen für die Raumheizung
5	Bewertung der Strategien der öffentlichen Hand unter Berücksichtigung von Versorgungssicherheit
6	Daten für ein vereinfachtes Nachfragemodell
7	Zusammenfassung und Ausblick
8	Literatur

1 Einleitung

In den letzten Jahren ist die Leistungsbilanz der Bundesrepublik Deutschland in Milliardenhöhe defizitär geworden. Dies wird in erster Linie auf den Anstieg der Ölpreise und die beschränkte Möglichkeit der Volkswirtschaft, kurzfristig auf andere Energieträger umzustellen, zurückgeführt. Da außerdem Öl als Preisführer für den Anstieg der Preise anderer Energieträger gewirkt hat, ergibt sich für die Teilnehmer an der Volkswirtschaft das Problem, Einkommensverluste durch Reduzierung des Energieverbrauchs zu vermeiden. Dies läßt sich erreichen durch reines Einsparen, d.h. nach Prüfung, wo und in welchem Ausmaß Energie wirklich gebraucht wird, aber auch durch Verzicht auf Energiedienstleistungen und durch Investitionen zur Verbesserung oder zum Ersatz bestehender Einrichtungen. Solche energiesparenden Maßnahmen wurden insbesondere durch Subventionen der öffentlichen Hand unterstützt.

Um Auswirkungen möglicher zukünftiger Energiepreiskrisen durch investive oder sonstige Maßnahmen beschränken zu können, ist es wünschenswert, mit Hilfe von Modellen die negativen Effekte der Preissteigerungen zu simulieren beziehungsweise im Sinne von volkswirtschaftlichen Nutzenkonzepten zu minimieren. Hierbei bieten sich insbesondere zwei Wege an. Der eine wäre im Rahmen eines hochaggregierten makroökonomischen, durch Preise getriebenen, Mehrsektorenmodells, wobei überwiegend neoklassische Produktionsfunktionen von einigen wenigen Typen benutzt werden könnten. Die Parameter der verwendeten Funktionen werden hierbei so geschätzt, daß eine akzeptable Übereinstimmung mit den verfügbaren Zeitreihendaten existiert.

Ein weiterer Weg wäre ein mikroökonomischer Ansatz, der bei den ökonomischen Entscheidungsträgern ansetzt. Hierbei lassen sich deren Interessenslagen, Informations- und Handlungsmöglichkeiten erfassen, und Entscheidungsprozesse lassen sich detailliert studieren. Über eine anschließende Aggregation von Nachfrage oder Produktion lassen sich makroökonomische Nachfragebeziehungsweise Produktionsfunktionen herleiten. Der Gewinn an

Interpretierbarkeit der Aggregatfunktionen wird jedoch erkauft durch einen wesentlich größeren Modellierungs- und Datenaufwand.

Wegen dieses Aufwandes werden wir im folgenden ein Nachfragemodell für Raumheizenergie allein für Ein- und Zweifamilienhäuser entwickeln. Dies erscheint gerechtfertigt, da z.B. im Jahre 1980 im Bereich Haushalt und Kleinverbraucher 43,5 % der Endenergie verbraucht wurden und innerhalb dieses Sektors die Raumheizung den größten Anteil beansprucht, wozu insbesondere die Ein- und Zweifamilienhäuser beitragen. Da die Raumheizung etwa 80 % des gesamten Energieverbrauchs einer Wohnung ausmacht, stellt sie auch einen wichtigen Kostenfaktor der privaten Haushalte dar. Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt für die Beschränkung auf Ein- und Zweifamilienhäuser besteht darin, daß die Eigentümer überwiegend dieselben bewohnen und daher ein direktes Interesse an der Reduzierung der Heizungskosten auch über investive Maßnahmen haben. Wie sich inzwischen auch über Umfragen (Socialdata 1982) belegen läßt, ist die Situation der Mieter von Wohnungen substantiell anders, weshalb wir im folgenden auf Mieter von Wohnungen nur noch am Rande eingehen.

Der Inhalt dieses Beitrags besteht darin, ein Modell aufzustellen, bei dem unter Beschränkung auf Ein- und Zweifamilienhäuser die wesentlichen Faktoren für Energieverbrauch mit Einschluß investiver Maßnahmen enthalten sind. Solche Faktoren sind neben sozio-ökonomischen Daten wie Einkommen der Haushalte, Haushaltsgröße, Bildungsstufe, die technischen Gegebenheiten der Häuser und Heizungsanlagen sowie der Grad der Informiertheit über mögliche sinnvolle Investivmaßnahmen und sinnvolles Sparverhalten. Es geht hier also nicht darum, was unter dem Gesichtspunkt der Minimierung der Ausgaben für Heizzwecke eine grundsätzlich mögliche Versorgung mit Raumwärme wäre, sondern um ein den tatsächlichen Reaktionen nahes Modell, das den nutzenoptimierenden Verbraucher einbezieht.

Hierzu wird ein quantitatives Modell mit mehrfachen Zielsetzungen entwickelt. Die sich partiell widersprechenden Zielsetzungen sind vor allem

- geringer Verbrauch von Energie
- geringe Gesamtausgaben für Raumheizung
- hohe Behaglichkeit
- hohe Versorgungssicherheit.

Zusätzliche Ziele wie Einschränkung eines speziellen Energieträgers bei Beschränkung der Heizungskosten hoher Bedienungskomfort lassen sich hinzufügen. Das Modell ist so gebaut, daß auch neue Heizungssysteme wie Wärmepumpen oder Solarsysteme betrachtet werden können. In Anbetracht dessen, daß für Heizungsanlagen Lebenszeiten von 20 oder mehr Jahren angegeben werden, muß ein Modell dynamisch oder mehrperiodig sein. Es ist im wesentlichen Markowsch aufgebaut, wobei ein Zustand aus der Aufteilung der Hausbesitzer beziehungsweise der Häuser auf Klassen, die durch technische und sozioökonomische Einheiten festgelegt sind, besteht. Es werden für jede Zeitperiode Preis-Angebotskurven für Energieträger und Heizungsanlagen definiert. Das Modell orientiert sich an der Fragestellung, wie die öffentliche Hand die oben genannte Ziele durch Besteuerung der Energieträger und Subvention investiver Energiesparmaßnahmen erreichen kann. Im Modell sind in erster Linie direkte Zuschüsse, d.h. keine steuerliche Erleichterungen vorgesehen. Zuschüsse und Steuern sollen in etwa ausgeglichen sein.

In den folgenden Abschnitten werden wir zunächst auf das gegenwärtig vorhandene Wissen anhand von Literaturstellen eingehen. Anschließend werden wir einen Fragebogen, der in der Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung verteilt wurde, diskutieren. Sein Ziel war, die Datenprobleme zu mildern, wobei Daten hier auch im Sinne von Relationen zu verstehen sind. Die Auswertung der Erhebung hatte auf die Modellkonzeption Einfluß. Die Darstellung des quantitativen Markowschen Entscheidungsproblems schließt sich an. Schließlich wird die Aussagefähigkeit des dargestellten Modells sowie die Einbeziehung weiterer Größen noch einmal kurz diskutiert.

Die Autoren möchten sich für die Unterstützung dieser Arbeit bedanken bei den Herren H. Kollmann, W. Terhorst, W. Mende, J. Hoffmeyer-Zlotnik, Frau E. Brückner und den ungenannten Kollegen, die trotz ihrer starken Auslastung für unser Anliegen ein offenes Ohr hatten und uns halfen, zumindest gröbere Fehler zu vermeiden. Die verbliebenen Schwächen sind jedoch den Verfassern anzulasten.

2 Grundlagen

Trotz der Vielzahl der inzwischen entwickelten und publizierten Modelle und auch der empirischen Arbeiten aus den Wirtschaftswissenschaften ist die Menge der Arbeiten, die das Verbraucherverhalten im Energiebereich zu erklären und für längerfristige Prognosen zu verwenden suchen, relativ klein. Im folgenden werden wir zunächst auf einige Literatur, die für ein längerfristiges, d.h. wesentlich über 5 Jahre hinausgehendes, Prognose- beziehungsweise Optimierungsmodell, relevant ist, eingehen. Dabei werden wir bereits Teilaspekte des Ansatzes beleuchten und schließlich überleiten auf unser Vorgehen, mittels einer internen Fragebogenaktion wenigstens strukturelle Daten zu ermitteln.

Im Bereich des Energieverbrauchs in Ein- und Zweifamilienhäusern interessiert nicht nur die Gesamtmenge der verbrauchten Energie, sondern auch der spezielle Energieträger. Für den einzelnen Haushalt ist dieser an die jeweilige Heizungsanlage gebunden, wobei auch noch die Art wie z.B. Einzelöfen oder Etagenheizung oder Zentralheizung wichtig ist. Somit zerfällt die Aufgabe einer mehrperiodigen Verbrauchsbestimmung in die Teilbereiche

- o Verbrauch bei Beibehaltung des Energieträgers,
- o Wechsel des Energieträgers.

Da bei Beibehaltung des Energieträgers der Heizenergieverbrauch auch über Investitionen (z.B. Regulierung der Heizungsanlage) gesenkt werden kann, werden wir aus methodischen Gründen die Teilbereiche

- o Energieverbrauch in Perioden ohne Investitionen
- o investive Maßnahmen im Raumheizungssektor

untersuchen.

2.1 Bestimmungsgrößen des Energieverbrauchs für Raumheizung

Bis in die heutige Zeit überwiegen die Erklärungen des Energieverbrauchs aus den technischen Gegebenheiten der Häuser und den Preisen der Energieträger. A. Scott stellt noch 1980 fest, daß die empirischen Studien in diesem Bereich keine gesunde Basis in der ökonomischen Theorie haben. Abgesehen von methodischen Fehlern orientierten sich die von ihm zitierten Studien eher an technischen als an ökonomischen Überlegungen. Anschließend an diese Bemerkungen führt er formal ein Modell ein, das Brennstoffpreise, Verbrauchereinkommen und Nutzenfunktionen enthält. Aus Mangel an ökonomischen und sozialen Daten wird schließlich der Verbrauch (Nachfrage gleichgesetzt mit Angebot) als affin-lineare Funktion dargestellt, die abhängt von dem Brennstoffpreis, der mittleren Außentemperatur, der Jahreszeit, der Anzahl der Schlafzimmer und davon, ob das Haus einen für die jeweilige Saison verfügbaren Gesellschaftsraum (inner lounge) hat. Die hier aufgeführten Größenmerkmale des Hauses dienen als Indikator für das Familieneinkommen und die Familiengröße. Logarithmische Nachfrage- und Angebotskurven werden erwähnt. Die Resultate einer Schätzung werden angegeben; die Güte, angegeben durch die multiple Korrelation, ist jedoch nicht sonderlich groß.

H. Danskin (1979) nimmt als erklärende Variablen die technischen Daten des Hauses und des Heizungssystems sowie das Einkommen und den Brennstoffpreis. Wie bei den Ansätzen von A. Scott (1980) liegt somit ein im wesentlichen preisgetriebenes Modell vor, wobei jedoch die ökonomische Situation des Haushalts mit einem Datum einbezogen wird.

Während in den beiden genannten Arbeiten keine Nutzenfunktion explizit angegeben wird, benutzt J.A. Hausman (1979) in einer Arbeit über Klimageräte eine Nutzenfunktion, in der eine Unbehaglichkeit quadratisch im aggregierten Abstand von einer Wunschtemperatur angesetzt wird. Die restlichen Terme enthalten Einkommen und Kosten in linearer Form. Die Koeffizienten erweisen sich als extrem abhängig von der Einkommensklasse,

was allerdings nur für eine kleine Stichprobe (65 Beobachtungen) verifiziert wurde. Eine Modifikation mit einem exponentiellen statt quadratischen Unbehaglichkeitsterm wird noch angegeben.

Bevor wir ein erstes Resumee ziehen, wollen wir noch das lineare Ausgabensystem, das durch Optimierung der Stone-Geary oder Klein-Rubin Nutzenfunktion bei einem festen Budget entsteht, erwähnen. Hier hängen die Ausgaben für ein Gut affin-linear von den Preisen ab, während die erworbene Menge nicht-linear (gebrochen linear) von den Preisen abhängt (vgl. Merz 1980, A2).

Insgesamt weisen die soeben genannten Autoren darauf hin, daß neben den Merkmalen des Hauses und der Anlage auch die sozio-ökonomischen Daten der Bewohner zu berücksichtigen sind. Es ist jedoch weder geklärt, wie eine den Energieverbrauch bewertende Nutzenfunktion auszusehen hätte noch wie die Ausgaben hierfür durch Preise, sozioökonomische Daten usw. festgelegt sind. Alle erhobenen Daten sind Querschnittsdaten. Tatsächlich interessieren wir uns in erster Linie für Längsschnittanalysen, weil wir in erster Linie Änderungen von Einflußfaktoren in der Zeit untersuchen wollen. Bei Mangel an geeigneten Längsschnittsdaten sind Querschnittsdaten jedoch unverzichtbar, da man annimmt, daß die Ausgabenstruktur eines Haushalts sich z.B. bei steigendem Einkommen so verändert, daß sie der Ausgabenstruktur des Haushalts gleicht, der zum Untersuchungszeitpunkt bereits dieses Einkommen besessen hat. Dies wird mit der Anpassung des Haushaltes an die Verbrauchsgewohnheiten der Haushaltsgruppen mit gleichem Einkommen und Rang begründet.

Die Frage bleibt, ob die genannten Faktoren bereits zur Erklärung ausreichen. Hierzu sei aus Socialdata (82, S. 75) zitiert: "Als Problemlösung fallen ihnen (den Haushalten) in erster Linie Maßnahmen zur Senkung des Wärmekomforts ein, also Maßnahmen der Temperatursenkung, der Teilbeheizung von Wohnungen, des verminderten Lüftens". Dieser Informationsmangel, der insbesondere alte Menschen betrifft und Angehörige

niederer Sozialschichten, verhindert unter anderem, daß Einsparungen ohne Behaglichkeitseinbußen erfolgen. Dies kann z.B. geschehen durch veränderte Lüftungsgewohnheiten (ca. 6 % der Heizenergie aller Haushalte kann so eingespart werden), Beschränkung der Raumtemperatur auf im Mittel 20 °C, Nachtabsenkung, Tagabsenkung in Abwesenheit der Bewohner und Benutzung des vorhandenen Fensterschutzes. Daneben gibt es noch einkommensstarke Haushalte, die keine Notwendigkeit zur Einsparung sehen. Insgesamt wird man also in einem Langzeitmodell eine Veränderung des Raumwärmebedarfs allein wegen eines erhöhten Wissens vorsehen müssen.

Die Umfrage unter Hausbesitzern und Wohnungseigentümern, welche zusammengestellt wurde in der Spiegeldokumentation "Energiebewußtsein" (1981) erhebt nicht das Einsparpotential ohne Behaglichkeitsverlust. Dies wurde auch nicht untersucht in der weiter unten geschilderten STE-internen (Programmgruppe Systemforschung und technologische Entwicklung) Umfrage. Es bleibt die Frage, welche Verhaltensänderungen, eventuell verursacht durch Energiepreissteigerungen, sich einstellen könnten. Hierauf gibt die Spiegeldokumentation (1981) keine Auskunft, in Socialdata (1982) werden Verhaltensänderungen angegeben (vgl. insbesondere S. 107), während in der STE-Umfrage das Ausmaß der Reaktion zu ermitteln versucht wird.

Abschließend sei noch einmal festgehalten, daß für Energiesparen durch Verhaltensänderung neben den sozio-ökonomischen Daten wie Haushaltseinkommen, Alter, Haushaltsgröße usw. auch der Informationsstand wesentlich ist.

2.2 Bestimmungsgrößen der investiven Maßnahmen für Raumheizung

Behaglichkeit durch Raumwärme läßt sich auch bei vermindertem Energieverbrauch beibehalten, sofern Investitionen ausgeführt werden wie etwa Isolierungen der Gebäude oder Verbesserungen an den Regulierungen der Heizungsanlagen. Wie sich aus Socialdata (1982) und Spiegeldokumentation (1981) belegen läßt, haben Eigentümerhaushalte in großem Ausmaß energiesparende Investitionen ausgeführt (z.B. 37 % der Eigentümerhaushalte haben Wärmedämmung an den Fenstern ausgeführt). Es stellt sich die Frage, ob die öffentliche Hand diesen Trend aus volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten wie etwa

- Ausgleich der Leistungsbilanz wegen geringerer Energieimporte
- Beibehaltung oder Vergrößerung der Behaglichkeit insbesondere für einkommensschwache Haushalte
- Beschränkung der Ausgaben für Heizwärme um Konsum in anderen Bereichen zu ermöglichen
- Verminderung der Umweltbelastung durch Raumheizungsanlagen

unterstützen kann. Ist dies gegeben, stellt sich die Frage nach dem wie.

Die öffentliche Hand hat die folgenden Möglichkeiten

- Verordnungen, die Einbau und Art der Benutzung von Anlagen gebieten und verbieten
- fiskalische Maßnahmen über Steuern und Subventionen
- direkte Verbraucherinformation oder indirekte über Information des Installationsgewerbes.

Das Potential der genannten Möglichkeiten läßt sich beurteilen, wenn die für energiesparende Investitionen maßgebenden Faktoren und ihre Steuerbarkeit bekannt sind.

Für die Beurteilung der rein fiskalischen Maßnahmen und der ökonomischen Konsequenzen, d.h. ohne Beachtung von Behaglichkeit und Umweltbelastung, erscheint der Ansatz von Merz (1980) als Ausgangspunkt geeignet. Hier werden in Abhängigkeit von sozio-ökonomischen Daten die Gleichungsparameter für nicht-dauerhafte und dauerhafte Güter wie Immobilien im Rahmen einer Querschnittsanalyse geschätzt. Eine Zeitreihenanalyse wird nicht ausgeführt. Investivmaßnahmen, speziell zur Energieeinsparung, werden wegen anderer Ausrichtung der Studie nicht aufgeführt. Da Daten, die für eine verlässliche Zeitreihenanalyse notwendig sind, nicht im ausreichenden Maß vorliegen, ist der Modellansatz in der dargestellten Form nicht unmittelbar übertragbar für die Analyse im Raumheizungssektor. Eine detailliertere Untersuchung ist auch deswegen nötig, da für die Energiewirtschaft auch der spezielle Energieträger wichtig ist.

Stärker als Merz (1980) bezieht Pickering (1977) in dem Buch: "The Acquisition of Consumer Durables" qualitative Daten ein. Die zur Erklärung der Ausgaben benutzten Variablen enthalten u.a. sozio-ökonomische Daten, Angaben über Besitzstand spezieller dauerhafter Konsumgüter, Zuversichtsvariablen wie z.B. "finanziell steht die Familie besser da als vor einem Jahr", Wahrnehmung der Eigenschaften des Gutes wie "zuverlässig" oder "niedrige laufende Kosten", und Veränderung des Haushaltes innerhalb des Untersuchungszeitraumes. Mit Methoden oder multiplen linearen Regression, Faktorenanalyse und Diskriminanzanalyse werden die Beziehungen geschätzt und getestet. Hierbei sind die Modelle nicht notwendig vollständig linear, da z.B. die dritte Wurzel der Ausgaben benutzt wird. Der Ansatz dieser Arbeit ist nicht unmittelbar auf Raumheizprobleme anwendbar, da Eigenschaften von Heizungssystemen zu berücksichtigen wären. Für den Einbau der Zuversichtsvariablen in ein anderes Modell müßte noch geklärt werden, inwieweit diese Variablen auf volkswirtschaftliche Größen zurückgeführt werden können.

Da die obengenannten Arbeiten generell auf die Konsumausgaben eines Haushaltes ausgerichtet sind, ist es erforderlich, sie durch Untersuchungen zu ergänzen, die speziell auf den Energieverbrauch im Haushalt ausgerichtet sind. Im folgenden gehen wir auf drei größere Datenerhebungen über Energieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland ein.

Über die älteste im Jahre 1975 berichtet G. Lüttringhaus in der Arbeit: "Einflußfaktoren bei der Wahl von Heizungssystemen". 1029 Interviews wurden bundesweit im Jahre 1973 durchgeführt. Die Untersuchung setzte bei der Ermittlung von Unzufriedenheit mit der vorhandenen Heizung, dem Umstellungswunsch und dessen Ursachen an. Insbesondere waren solche Befragte unzufrieden, die jünger als vierzig Jahre waren, berufstätig waren und einem Ein-Personenhaushalt angehörten. Als besonders negativ wurden an der Festbrennstoffheizung die folgenden Eigenschaften empfunden:

- o Fehlende Bequemlichkeit (Das Heizen macht viel Schmutz; es ist viel Asche zu beseitigen, es erfordert viel Arbeitsaufwand)
- o Geringe Preiswürdigkeit (Festbrennstoffe sind teuer)
- o Fehlendes soziales Ansehen (Das Heizen mit Festbrennstoffen ist nicht angesehen bei Nachbarn)

Gründe, die gegen ein neues Heizungssystem sprachen, waren:

- o Vorratshaltung an Brennstoff nicht möglich
- o krisenanfällig
- o teuer
- o knapper Brennstoff

Es wird festgestellt, "daß bei Umstellungswilligen der Wunsch nach größerer Bequemlichkeit im Vordergrund steht. Dahinter rangieren auch Erwartungen, die den Bereich des sozialen Status betreffen. Um sich den Wunsch zu erfüllen, nehmen die Verbraucher sogar in Kauf, daß eine andere Heizung teuer ist und ihnen zudem auch in erhöhtem Maße für Versorgungsstörungen anfällig

erscheint". Diese Aussage wurde bestätigt mittels zweier Faktorenanalysen der erhobenen Daten. Der Faktor, der mit "Bequemlichkeit" bezeichnet werden kann, enthält bei einem Gewicht von mehr als 60 % die Einzelvariablen "viel Asche zu beseitigen, erfordert viel Arbeitsaufwand, macht viel Schmutz, Schlacke schwierig zu beseitigen, schwierig zu bedienen". Der Faktor mit dem zweitgrößten Gewicht von 12 % bzw. 18 % enthält die Variablen "heizt gut" und "behagliche Wärme". In einer der beiden Faktorenanalysen konnte noch ein dritter wesentlicher Faktor identifiziert werden, der mit dem Gewicht von rund 10 % die Variablen "teurer Brennstoff" und "Anschaffung der Öfen teuer" enthielt.

Die Spiegeldokumentation (1981) basiert auf einer Befragung von 1431 Personen (Hausbesitzer und Wohnungseigentümer). Nach der Abfrage des Besitzes von Immobilien und Wohnverhältnissen, auch Erneuerungsvorhaben, werden Heizungssystem, Heizungskosten, durchgeführte energiesparende Maßnahmen abgefragt. Unter anderem werden die Kosten dieser Maßnahmen und die Amortisationszeit erhoben. Es wird nur nach wenigen, überwiegend ökonomischen, Ursachen gefragt. Weiter wird gefragt, wie die gestiegenen Heizkosten ausgeglichen werden sollen und welche heizenergiesparenden Maßnahmen innerhalb der nächsten 5 Jahre ausgeführt werden sollen. Es wird nicht untersucht, unter welchen Bedingungen die angekündigten Maßnahmen ausgeführt werden oder ausgeführt werden können. Ohne weitere Untersuchung, z.B. über die Gründe einer Reihenfolge solcher Investitionsvorhaben, lassen sich die Erhebungsergebnisse nicht unmittelbar für eine längerfristige Prognose verwenden.

Die Erhebung von Socialdata (1982) erreicht 1294 Eigentümer und 2106 Mieter. Vom Umfang her ist das präsentierte Zahlenmaterial geringer, dafür werden die "Energiesparpotentiale" deutlich herausgearbeitet; insbesondere die Bedeutung des Informationsstandes wird dokumentiert. Die Reaktionen bei Verdoppelung der Heizkosten (Tabelle 9, S. 107) geben nur die Maßnahmen, nicht jedoch das finanzielle Ausmaß der Maßnahme an.

Gegenüber den soeben genannten Umfragen versuchten wir mit einer kleinen Umfrage innerhalb der STE (Februar 81) zu ermitteln, inwieweit Kosten, Bequemlichkeit und Versorgungssicherheit für Investitionen wichtig sind. Ansatz und Resultat werden wir im anschließenden Abschnitt beschreiben. Ausgangspunkt waren für uns die Modelle zur Erklärung von Kaufverhalten wie sie etwa von Kroeber-Riel (1980) oder Ruczinski/Suthoff dargestellt werden. Eine detaillierte Analyse des Marktes bzw. des Einzelkaufes wie von A.E. Amstutz (1970) konnte vom Aufwand her nicht angestrebt werden.

Unter der Vielzahl der Modelle, die Kaufverhalten erklären sollen, wollen wir kurz drei skizzieren. Die ersten beiden berechnen die Einstellung eines potentiellen Käufers als Summe von sogenannten Eindruckswerten bezüglich spezieller Eigenschaften. Es wird dabei angenommen, daß die Kaufwahrscheinlichkeit streng monoton mit der positiven Einstellung anwächst (vgl. folgende Abbildung).

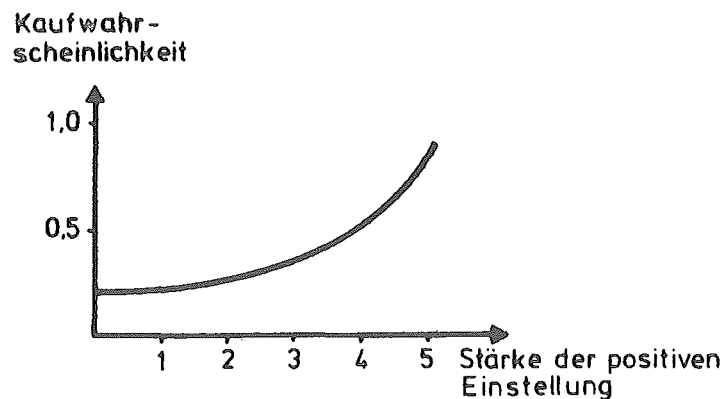


Abb. 2.1 Beziehung zwischen Einstellung und Kaufwahrscheinlichkeit

Die Einstellung A_{ij} oder Attitüde der Person i zum Objekt j ist gegeben durch

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n B_{ijk} a_{ijk}$$

mit B_{ijk} = spezifische Vorstellung über j hinsichtlich der Eigenschaft k

a_{ijk} = spezifisches Bedürfnis nach der Eigenschaft k

$B_{ijk} a_{ijk}$ = Eindruckswert
 n = Anzahl der Eigenschaften

Eigenschaften, die im Zusammenhang von Investitionen für Energiesparen beachtet werden müssen, sind z.B. Kosten der Investitionen, Ersparnis an laufenden Kosten, Bequemlichkeit und Gewinn an Ansehen.

Modelle dieser Art wurden vorgeschlagen u.a. von Fishbein und Rosenberg (vgl. Kroeber-Riel (1980, s. 194, s. 302) oder D. Freitag (1973)). Die praktische Anwendung hat gezeigt, daß die Abfrage der wertenden Variablen a_{ijk} und der beschreibenden Variablen B_{ijk} schwierig ist. Im allgemeinen korrelieren die Variablen a_{ijk} und B_{ijk} .

Diese Schwierigkeiten werden zum Teil umgangen durch das Trommsdorff-Modell (vgl. Kroeber-Riel (1980), s. 196), bei welchem die Einstellung A_{ij} der Person i zum Objekt j erklärt wird durch

$$A_{ij} = \sum_k |B_{ijk} - I_{ik}|$$

mit B_{ijk} = die von Person i wahrgenommene Ausprägung des Merkmals k an Marke j

I_{ik} = die von Person i an Marken der gleichen Produktklasse als ideal empfundene Ausprägung des Merkmals k .

Die Schwierigkeiten bei der Anwendung liegen hier bei der Ermittlung der I_{ik} .

Es hat sich gezeigt, daß die gefundenen Korrelationen zwischen Einstellung und Kaufverhalten groß genug sind, um die Wirkung wesentlicher Verhaltensursachen anzuzeigen, aber sie sind kaum stark genug um vorzuschlagen, Einstellungen mechanisch als Ersatz für Verhaltensmessungen zu benutzen. Zur Vollständigkeit sei ein Modell von Fishbein (Ruczinski/Suthoff s. 369) angegeben:

- $B \approx BI = A_{act} \cdot w_0 + (NB \cdot Mc) \cdot w_1$
 mit B = tatsächliches Verhalten
 BI = Verhaltensneigung
 A_{act} = Einstellung zum Handeln in einer gegebenen Situation
 NB = normative Annahmen, definiert durch die Meinung, die jemand hat, was allgemein von ihm gefordert wird oder von der Gesellschaft als wünschenswert gesehen wird.
 Mc = die Bereitschaft, solchen Normen nachzukommen und sie zu erfüllen.
 w_0, w_1 = Gewichte

Auch wenn grundsätzlich die sozialen normativen Parameter NB und Mc zu berücksichtigen sind, werden wir ein Investitionsmodell angeben, das sich mehr an dem zuerst genannten linear-additiven Einstellungsmodell anlehnt. Neben der Erwartung, daß die sozialen normativen Parameter für heizenergiesparende Investitionen kein zu großes Gewicht haben, gewinnt das Modell auch an Einfachheit.

3. Umfrage in der Programmgruppe Systemforschung und technologischer Entwicklung (STE)

In der Anfangsphase der Arbeiten zeigte es sich, daß die zugänglichen Zeitreihendaten nicht ausreichten, um die Parameter für ein dynamisches Modell über den Heizenergieverbrauch in Ein- und Zweifamilienhäusern brauchbar zu schätzen. Insbesondere fehlten Daten, die im Rahmen eines solchen Modells für die Ermittlung der Marktchancen für neuere Technologien wie Wärmepumpen und Solartechnologien wichtig sind. Um eine genaue Vorstellung zu gewinnen, welche wesentlichen Zusammenhänge zwischen Kosten für Heizung, Einkommen, Verbrauch, Investitionen und anderen Faktoren bestehen, planten wir, in Zusammenarbeit mit Markt- bzw. Sozialforschungsinstituten eine Umfrage auszuführen, die uns die wesentlichen Daten liefern sollte. Erwünscht waren Daten über mögliche Investitionsmaßnahmen und Verhalten

in hypothetischen Situationen, so daß in Abhängigkeit äußerer Einflüsse Entwicklungspfade sichtbar werden könnten. Wegen finanzieller Engpässe ließ sich dieses Vorhaben in der angestrebten Form nicht ausführen, sondern wir mußten uns mit der Prätestphase innerhalb der STE zufriedengeben. Die Umfrage wurde ausgeführt im Frühjahr 1981. Zwanzig Fragebögen wurden bearbeitet. Für die Ausmerzung grober Fehler müssen wir u.a. Herrn W. Mende und den Mitgliedern des ZUMA (Mannheim), Frau E. Brückner und Herrn J. Hoffmeyer-Zlotnik, danken.

3.1 Aufbau des Fragebogens

Im Einleitungsteil sollte ermittelt werden, welche Gesichtspunkte außer Kosten, z.B. Unfallgefährlichkeit, für die Auswahl eines Heizungssystems wichtig sind.

Der Teil 1 gliedert sich in Fragen zum Haus, dem vorhandenen Heizungssystem, der Beheizung des Hauses, d.h. welche Temperatur auf welcher Grundfläche sowie Kosten, und nach Sparmaßnahmen auf. Es wird nach Veränderungen der Heizungsgewohnheiten, durchgeführten und geplanten Sparmaßnahmen und Gründen hierfür gefragt. Daran schließen Fragen nach der Einschätzung von Preissteigerungen, Kosten und Aufwand anderer Heizungssysteme und möglichen Verknappungen an.

Der Teil 2 versucht zu erheben, wie der Befragte in hypothetischen Situationen reagieren könnte. Die ersten Fragen versuchen die Trade-off-Kurve zwischen der mittleren Temperatur und den Heizungskosten zu bestimmen, wobei von hypothetischen Veränderungen der Heizungskosten ausgegangen wird. Die nächste Frage spricht die Bereitschaft an, mehr für die Erhöhung der Versorgungssicherheit auszugeben. Danach wird gebeten, die Bequemlichkeit der Heizungsanlage auf einer Skala von 1 bis 10 anzugeben. Fragen nach dem Trade-off zwischen Bequemlichkeit und Kosten sowie Bequemlichkeit und Versorgungssicherheit schließen sich an. Der Fragebogen schließt mit der Erhebung des sozio-ökonomischen Zustands des Haushalts.

0. Einleitung

Angesichts steigender Heizungskosten sind Verbesserungen des Heizungssystems und Umrüstkosten sowie Isoliermaßnahmen ein aktuelles Problem. Viele Leute machen sich inzwischen Gedanken, welche Maßnahmen - wie z.B. Austausch des alten Brenners, bessere Regulation der Temperatur, Isolation - die Heizungskosten vermindern helfen, wobei aber auch der Aufwand an Zeit ansteigen kann. Im folgenden interessieren uns die Gesichtspunkte, die Sie hierbei für wesentlich halten.

01) Im folgenden wird eine Reihe von Gesichtspunkten, die für ein Heizungssystem wichtig sind, angegeben. Bitte geben Sie hinter jedem Gesichtspunkt eine Nummer von 1 bis 10 an, wobei 1 für einen unwesentlichen und 10 für einen sehr wesentlichen Gesichtspunkt steht. Gesichtspunkte mittlerer Bedeutung erhalten eine Zahl zwischen 1 und 10.

Unfallgefährlichkeit, Unfallrisiko

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Kurzfristige Versorgungssicherheit
(Versorgung mit Brennstoffen zu erträglichen Preisen ist gesichert für ein Jahr)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Regelbarkeit

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Geruchsbelästigung

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Geräuschbelästigung

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Schmutz

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

langfristige Versorgungssicherheit
(Versorgung mit Brennstoffen ist für mehrere Jahre gesichert)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

täglicher Aufwand zur Bedienung

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Marktbeobachtung, um im richtigen Zeitpunkt Brennstoff einzukaufen

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

02) Bitte geben Sie noch andere wichtige Gesichtspunkte außer Kosten an, die hier fehlen!

I. Fragen zur Beheizungsstruktur
(von Ein- und Zweifamilienhäusern)

1) Welche Stockwerke hat Ihr Haus?

Kellergeschoß ☐

Erdgeschoß ☐

Dachgeschoß ☐

ausgebaut? ja ☐
nein ☐

Sonstige ☐

2) Wieviele Quadratmeter Wohnfläche enthält es?

--

3) Wann ist es gebaut worden bzw. wann wird es fertiggestellt?

--

4) Haben Sie handwerkliche Eigenleistungen beim Bau (Umbau) erbracht? ja ☐
nein ☐

Wenn ja, wieviel Prozent ist Ihr Eigenanteil?

--

5) Welchen Einheitswert hat Ihr Haus?

--

Für welches Baujahr gilt dieser Wert?

--

6) Bitte kreuzen Sie an, mit welchem Heizungssystem Ihr Haus hauptsächlich beheizt wird.

	Einzel- und Mehrraumofen	Zentralheizung
feste Brennstoffe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Öl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strom	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sonstige
(bitte angeben, welche)

Wenn Sie eine Zentralheizung mit Öl haben, so geben Sie bitte die Größe Ihres Öltanks in Litern an.

--

- 7) Ist Brauchwassererwärmung in Ihrem Heizungssystem eingeschlossen?

ja
nein

☐
☐

- 8) Die Stockwerke eines Hauses werden gewöhnlich unterschiedlich beheizt. Wieviele Quadratmeter Ihres Hauses werden in der kalten Jahreszeit mit welcher mittleren Temperatur beheizt?

Quadratmeter	Temperatur
	nicht beheizt

- 9) Bitte geben Sie die mit Ihrer Heizung verbundenen Kosten (evtl. Schätzungen) innerhalb der letzten 12 Monate an für

Brennstoffe
Wartung und Reparatur

- 10) Was würden Sie lieber tun, wenn Sie die Ausgaben für Heizung niedrig halten müssen?

- a) in allen Räumen die Temperatur gleichmäßig senken
b) einige Räume nicht mehr beheizen

☐
☐

- 11) Haben Sie in den Jahren seit der ersten Ölkrise 1973 eine bauliche oder technische Veränderung, die auch für die Heizung wichtig ist, ausgeführt, wie z.B. Einbau von Doppelfenstern, Wärmedämmung, Übergang von Einzelheizung zu Sammelheizung, Einbau von Thermostaten?

ja
nein

☐
☐

Wenn Sie diese Frage mit nein beantwortet haben, so gehen Sie bitte zu Frage 15).

- 12) a) Was waren Ihre Gründe für die Veränderung?

.....
.....

- b) Wann wurde die Veränderung ausgeführt?

- c) Was kostete die Veränderung?

- c1) ohne Berücksichtigung von Zuschüssen bzw. Steuererleichterungen
c2) mit Berücksichtigung von Zuschüssen bzw. Steuererleichterungen

- d) Wie haben sich hierdurch Ihre Kosten verändert (in Prozenten)?

für Wartung und Reparatur
Brennstoffkosten

- 13) a) Ließen Sie sich zu dieser Veränderung durch Ihren Bekanntenkreis anregen?

ja
nein

☐
☐

- b) Haben Informationen aus den Medien Ihre Entscheidung beeinflusst?

ja
nein

☐
☐

- c) Wenn ja, war dies eine Zeitung
eine Fachzeitschrift
Rundfunk
Fernsehen

☐
☐
☐
☐

- 14) Wurden Sie vor der Ausführung der Veränderung durch einen Fachmann beraten?

ja
nein

☐
☐

- 15) a) Haben Sie seit der Ölkrise 1973 den Energieverbrauch durch Veränderung Ihrer Gewohnheiten gesenkt?

ja
nein

☐
☐

Wenn nein, so gehe man zu Frage 16).

- b) Ab wann haben Sie Ihre Gewohnheiten verändert?

- c) Wie haben Sie den Energieverbrauch gesenkt?

- 1) Durch weniger Lüftung
2) Senkung der Temperatur aller beheizten Räume
3) Indem nicht mehr alle Zimmer gleichmäßig erwärmt wurden
4) Sonstige: _____

☐
☐
☐
☐

- d) Empfanden Sie diese Sparmaßnahme als wenig unbequem
unbequem
sehr unbequem

☐
☐
☐

- e) Falls Sie die Sparmaßnahme nicht als wenig unbequem empfunden haben, welche Unbequemlichkeiten waren es?

- 16) Planen Sie in den nächsten fünf Jahren eine bauliche Veränderung Ihres Hauses oder Ihrer Heizungsanlage, die Einfluß auf Ihre Heizkosten haben soll, z.B. Wärmedämmung, Elektrowärmepumpe?

ja
nein

☐
☐

Wenn nein, gehen Sie bitte zu Frage 17).

16) a) Welche Veränderung ist das?

b) Welche Gründe haben Sie dafür? Solche Gründe sind z.B. geringere Kosten oder besserer Wirkungsgrad des neuen Brenners oder größere Bequemlichkeit oder größere Versorgungssicherheit. Wenn Sie mehrere Gründe haben, so fügen Sie bitte hinter jedem Grund eine Zahl von 1 bis 10 an, wobei 1 einen weniger wichtigen, 10 einen sehr wichtigen und die restlichen Ziffern Gründe mittlerer Wichtigkeit angeben.

c) Wann soll die Veränderung erfolgen?

d) Was schätzen Sie, wird die Maßnahme bei derzeitigen Preisen kosten?

e) Welche jährlichen Kosten (bei derzeitigen Preisen) erwarten Sie nach der Änderung

- für Brennstoffe
- für Wartung und Reparatur

17) Haben Sie bis jetzt Veränderungen unterlassen, weil behördliche Vorschriften Sie daran gehindert hätten?

ja ☐
nein ☐

a) Wenn ja, was war der Inhalt der Vorschrift?

18) Welche Preissteigerungsraten für Brennstoffe in den nächsten sieben Jahren halten Sie für wahrscheinlich? In der folgenden Tabelle geben Sie bitte die Steigerung in % bezüglich des jeweiligen Vorjahres an.

	Kohle	Öl	Gas	Strom	allgemeine Inflationsrate
1981					
1982					
1983					
1984					
1985					
1986					

19) Für wie wahrscheinlich halten Sie es, daß während der nächsten sieben Jahre auf Grund politischer Auseinandersetzungen eine vorübergehende Verknappung bei Heizöl auftritt?

mit relativ geringer Wahrscheinlichkeit (unter 10 %) ☐
 mit mittlerer Wahrscheinlichkeit (zwischen 10 und 50 %) ☐
 mit hoher Wahrscheinlichkeit (mehr als 50 %) ☐

a) In welchem Jahr halten Sie eine Verknappung für wahrscheinlich?

1981 oder 1982 ☐
 1983 oder 1984 ☐
 1985 oder 1986 ☐
 oder 1987 ☐

b) Um wieviel % würde der Vorkrisenpreis gesteigert werden?

c) Wie lange, glauben Sie, könnte die Verknappung an Heizöl andauern?

weniger als 2 Monate ☐
 2 Monate bis 6 Monate ☐
 6 Monate bis 1 Jahr ☐
 länger als 1 Jahr ☐

20) Wenn das Energieangebot kurzfristig knapp wird, dann könnte es zur Einführung von Sperrstunden von Strom und Gas kommen. Was glauben Sie, wie hoch die Wahrscheinlichkeit dafür in den kommenden Jahren ist? Drei Abstufungen werden benutzt: geringe (unter 10 %), mittlere (zwischen 10 % und 50 %), und hohe (über 50 %) Wahrscheinlichkeit. Bitte füllen Sie die folgende Tabelle aus!

	Wahrscheinlichkeit für Sperrstunden bei					
	G a s			S t r o m		
	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch
1981 oder 1982						
1983 oder 1984						
1985 oder 1986 oder 1987						

21) Glauben Sie, daß die Kosten für Materialien zur Wärmedämmung schneller ansteigen werden als die Kosten für neue Systeme wie Wärmepumpen oder Solaranlagen?

ja ☐
nein ☐

- 22) Welche neueren Heizungssysteme halten Sie für zukunftssträftig?

Elektrowärmepumpen
Solaranlagen
Sonstige (bitte nennen)

☐
☐
☐

- 23) Wie groß ist die Zeit, die Sie monatlich für die Wartung, Regulierung, Verwaltung usw. für Ihre gegenwärtige Heizungsanlage aufwenden, wobei Sie einen Mittelwert über das Jahr nennen können?

Stunden

- 24) Stellen Sie sich vor, gewisse Gründe würden Sie veranlassen, auf eines der nachfolgenden Systeme umzurüsten. Nehmen Sie dabei an, daß Sie alle Räume wie bisher heizen. Um wieviel Prozent würde sich Ihrer Meinung nach der Zeitaufwand zur Regulierung und Verwaltung verändern? Um wieviel Prozent würden sich Ihre laufenden Heizungskosten - Wartungskosten und Brennstoffkosten - je Jahr - verändern? Bitte, geben Sie diese Zahlen für möglichst viele der nachfolgenden Systeme an.

	Veränderung des Zeitaufwandes	Veränderung der laufenden Kosten
Einzel- und Mehrraumöfen für		
Feste Brennstoffe		
Heizöl		
Gas		
Strom		
Zentralheizungsanlage für		
Feste Brennstoffe		
Heizöl		
Gas		
Fernwärme		
Heizöl kombiniert mit elektrischer Wärmepumpe		
Heizöl kombiniert mit Solaranlagen		

- 25) Wenn Sie sich aus irgendwelchen Gründen gezwungen sehen würden, auf eines der nachfolgenden Systeme umzurüsten, was glauben Sie, wären die heutigen Investitionskosten? Bitte geben Sie Ihre Schätzungen für möglichst viele der nachfolgenden Systeme an!

	Investitionskosten
Einzel- und Mehrraumöfen für	
Feste Brennstoffe	
Heizöl	
Gas	
Strom	
Zentralheizungsanlage für	
Feste Brennstoffe	
Öl	
Gas	
Fernwärme	
Öl kombiniert mit elektrischer Wärmepumpe	
Öl kombiniert mit Solaranlagen	

- 26) Sind aus technischen Gründen und behördlichen Vorschriften einige der genannten Umrüstungen heute unmöglich?

ja
nein

☐
☐

- a) Wenn ja, welche Gründe oder Vorschriften sind dies?

II Fragen zur Bewertung

Wärme, hier im Sinne einer Hauttemperatur, ist ein menschliches Bedürfnis. Verhältnismäßig enge Grenzen sind dem Temperaturbereich gezogen, der von allen Menschen als angenehm empfunden wird. Im folgenden gehen wir davon aus, daß jeder Haushalt eine ideale Temperatur in jedem Raum hat und daß diese Temperatur (hier nur Durchschnittswert des Tages betrachtet) ohne Abweichung nach unten oder oben gehalten werden soll. Neben dem Wohlbefinden, das durch eine angemessene Beheizung der Räume erzeugt wird, sind noch die Gesichtspunkte der Bequemlichkeit (z.B. Bedienungsfreundlichkeit) und der Versorgungssicherheit zu berücksichtigen. Mit der Beziehung dieser Begriffe

Abweichung von der idealen Temperatur
Kosten
Bequemlichkeit
Versorgungssicherheit

werden wir uns im folgenden beschäftigen.

Wir gehen davon aus, daß Sie gegenwärtig in Ihren Räumen angenähert die "ideale" Temperatur haben und betrachten nur gleichmäßige Veränderungen in allen geheizten Räumen um die gleiche Temperaturdifferenz.

Die Kosten sollen sich auf ein ganzes Jahr beziehen. Als eine Komponente für Bequemlichkeit sei z.B. die Bedienungsfreundlichkeit angeführt als Anzahl der Stunden, die zur Bedienung und Wartung (z.B. Reinigung eines Kohle-Ofens) benötigt werden. Zur Festlegung der Versorgungssicherheit nehmen wir an, daß entweder der Brennstoff während eines Jahres immer verfügbar sei oder daß für die halbe Heizungsperiode die Temperatur mindestens drei Grad unter der idealen Temperatur liegt.

Den Fragen liegen hypothetische Situationen zu Grunde, die entweder für die Zukunft als möglich erscheinen oder nur geringfügige Obertreibungen zukünftig möglicher Situationen sind. Denken Sie sich bitte in die jeweilige Situation hinein und geben Sie an, was Sie in dieser Situation tun würden beziehungsweise was Sie bevorzugen würden.

- 27) Bei dieser Frage interessiert uns, ob Sie bei ungünstigen Heizungskosten anders heizen würden. Um die Anzahl der Fragen nicht zu groß werden zu lassen, lassen wir nur eine Temperatursenkung in allen beheizten Räumen zu.

Nehmen wir einmal an, Ihre Heizungskosten (Brennstoffkosten, Wartungskosten und umgelegte Investitionskosten) würde auf 30 % bzw. 20 % bzw. 10 % Ihres Nettoeinkommens ansteigen, wenn Sie wie gegenwärtig heizen. Welche Temperatursenkung (Angabe in Grad) in allen beheizten Räumen würden Sie akzeptieren, wenn Sie dadurch die Heizungskosten auf 20 % bzw. 10 % bzw. 5 % senken könnten? Bitte füllen Sie die nachfolgende Tabelle aus. Falls Sie keine Temperatursenkung in Betracht ziehen, tragen Sie bitte eine Null ein.

Heizungskostensenkung	Temperatursenkung
von 30 % auf 20 %	
von 30 % auf 10 %	
von 20 % auf 10 %	
von 20 % auf 5 %	

- 28) Nehmen wir einmal an, Ihre Heizungskosten würden auf 20 % bzw. 10 % Ihres Nettoeinkommens ansteigen, obwohl Sie bereits die Temperatur um 2 bzw. 3 Grad in den beheizten Räumen gesenkt haben. Welche zusätzliche Temperatursenkung (Angabe in Grad) würden Sie in allen beheizten Räumen durchführen, um Ihre Heizungskosten auf 10 % bzw. 5 % senken zu können? Bitte füllen Sie die nachfolgende Tabelle aus, wobei eine Null eingetragen werden soll, wenn Sie keine Senkung der Temperatur in Erwägung ziehen.

Heizungskostensenkung	alte Temperatursenkung	zusätzliche Temperatursenkung
von 20 % auf 10 %	- 2	
von 20 % auf 10 %	- 3	
von 10 % auf 5 %	- 2	
von 10 % auf 5 %	- 3	

- 29) Die nachfolgenden Fragen sollen klären, welche Kosten Sie bereit sind zu tragen, um die Versorgungssicherheit Ihrer Heizungsenergie weiter zu steigern. Versorgungssicherheit ist hierbei definiert als die Wahrscheinlichkeit, daß keine politischen Störungen auftreten, welche die "ideale Beheizung" (d.h. Beheizung wie bisher) während der kommenden Heizperiode verhindern. Als Hindernisgrund sind auch starke Preissprünge für Brennstoff zu betrachten. Eine "ideale Heizung" liegt nicht mehr vor, wenn mindestens für die halbe Heizperiode die Temperatur in allen beheizten Räumen um mindestens drei Grad gesenkt werden muß (Beheizung von weniger Räumen sei hier nicht betrachtet). Beispielsweise läßt sich für eine Ölheizung vollständige Versorgungssicherheit dadurch herstellen, daß ein für einen strengen Winter ausreichender Tank beschafft wird und dieser vollständig gefüllt wird. Im Falle einer Gasheizung läßt sich die Versorgungssicherheit etwa dadurch erhöhen, daß man einen Öl/Gas-Wechselbrenner und einen Zusatztank für Öl installiert oder einen Tank für Flüssiggas bereithält. Die Heizungskosten sollen sich wieder zusammensetzen aus Brennstoffkosten, Wartungskosten und umgelegten Investitionskosten.

Gehen wir einmal davon aus, daß Ihre gegenwärtigen Heizungskosten etwa 5 % Ihres Nettoeinkommens betragen und Ihre Versorgungssicherheit unter 90 % bzw. zwischen 90 und 95 % liegt. Wieviel Prozent Ihres Netto-

einkommens wären Sie bereit für die Heizung auszugeben, um eine höhere Versorgungssicherheit zu erlangen? Bitte füllen Sie die nachfolgende Tabelle aus. 5 % Heizungskosten besagt, daß Sie keine Erhöhung der Versorgungssicherheit erstreben.

Erhöhung der Versorgungssicherheit	Heizungskosten in %
von 0 - 90 % auf 90 - 95 %	
von 0 - 90 % auf 95 - 100 %	
von 90 - 95 % auf 95 - 100 %	

Gehen wir davon aus, daß Sie 10 % Ihres Nettoeinkommens für Heizung ausgeben, wobei Ihre Versorgungssicherheit nur 0 - 90 % bzw. 90 - 95 % betragen. Welche Kosten würden Sie tragen wollen, wenn Sie dabei die Versorgungssicherheit erhöhen könnten? Bitte füllen Sie die nachfolgende Tabelle aus, wobei der Eintrag 10 % Heizungskosten ausdrücken soll, daß Sie keine Erhöhung der Versorgungssicherheit anstreben.

Erhöhung der Versorgungssicherheit	Heizungskosten in %
von 0 - 90 % auf 90 - 95 %	
von 0 - 90 % auf 95 - 100 %	
von 90 - 95 % auf 95 - 100 %	

Welche Heizungskosten wären Sie bereit zu tragen, wenn die Heizungskosten bereits 20 % Ihres Nettoeinkommens ausmachen und keine vollständige Versorgungssicherheit vorliegt. Der Eintrag 20 % bedeutet wieder, daß Sie nicht bereit wären, zusätzliche Kosten zu tragen.

Erhöhung der Versorgungssicherheit	Heizungskosten in %
von 0 - 90 % auf 90 - 95 %	
von 0 - 90 % auf 95 - 100 %	
von 90 - 95 % auf 95 - 100 %	

In den anschließenden Fragen interessiert uns, welchen Wert Sie der Bequemlichkeit bzw. der Bedienungsfreundlichkeit zuweisen. Da Bequemlichkeit eine Vielzahl von Gesichtspunkten umfaßt, werden hier die Heizungssysteme direkt miteinander verglichen.

- 30) Im folgenden sei mit den Zahlen 1, 2, ..., 10 ein Maßstab für die Bequemlichkeit von Heizungssystemen vorgegeben, wobei 1 für wenig bequem und 10 für sehr bequem steht. Für 12 hypothetische Möglichkeiten, die im folgenden aufgeführt sind, geben Sie bitte durch eine Zahl von 1 bis 10 an, für wie bequem Sie diese Anlage halten.

	Bequemlichkeit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Einzel- und Mehrraumöfen für											
Feste Brennstoffe											
Heizöl											
Gas											
Strom											
Zentralheizungsanlage für											
Feste Brennstoffe											
Heizöl											
Gas											
Fernwärme											
Heizöl kombiniert mit elektrischer Wärmepumpe											
Heizöl kombiniert mit Solaranlage											

- 31) In der vorangehenden Frage haben Sie Heizungssysteme nach Bequemlichkeit bewertet. Im folgenden bitten wir Sie anzugeben, bei welchen Kostenminderungen Sie bereit wären, auf ein weniger bequemes Heizungssystem umzurüsten. Bitte tragen Sie Kostenverhältnisse ein (in Prozent; 90 % bedeutet Minderkosten der unbequemen gegenüber dem bequemen von 10 %), bei deren Erreichung Sie auf das weniger bequeme System umrüsten würden.

Übergang von System mit	auf System mit	bei % der Heizungskosten des bequemen Systems
höchster Zahl	zweithöchster Zahl	
höchster Zahl	dritthöchster Zahl	
höchster Zahl	vierthöchster Zahl	
zweithöchster Zahl	dritthöchster Zahl	
zweithöchster Zahl	vierthöchster Zahl	
dritthöchster Zahl	vierthöchster Zahl	

- 32) Für diese Frage sei rein hypothetisch angenommen, daß alle Heizungssysteme dieselben Heizungskosten verursachen. Nehmen wir weiter an, je ein System mit höchster Bequemlichkeitszahl (Frage 30), zweithöchster und dritthöchster Bequemlichkeitszahl hätten nur eine Versorgungssicherheit 80 %. Welche Versorgungssicherheit müßten die unbequemeren Heizungssysteme haben, damit Sie sich allein aus Gründen der höheren Versorgungssicherheit für das unbequemere System entscheiden würden? Setzen Sie einen Strich ein, falls Sie einen Übergang ausschließen.

Übergang von System mit	auf System mit	bei Versorgungssicherheit von
höchster Zahl	zweithöchster Zahl	
höchster Zahl	dritthöchster Zahl	
höchster Zahl	vierthöchster Zahl	
zweithöchster Zahl	dritthöchster Zahl	
zweithöchster Zahl	vierthöchster Zahl	
dritthöchster Zahl	vierthöchster Zahl	

Wie würde Ihre Entscheidung aussehen, wenn die bevorzugten 3 Systeme eine Versorgungssicherheit von 90 bis 95 % hätten? Bitte geben Sie dies in der nachfolgenden Tabelle an.

Übergang von System mit	auf System mit	bei Versorgungssicherheit von
höchster Zahl	zweithöchster Zahl	
höchster Zahl	dritthöchster Zahl	
höchster Zahl	vierthöchster Zahl	
zweithöchster Zahl	dritthöchster Zahl	
zweithöchster Zahl	vierthöchster Zahl	
dritthöchster Zahl	vierthöchster Zahl	

- 33) Nehmen wir einmal an, Ihr Nettoeinkommen wäre um 20 % höher; hätten Sie dann die Fragen 27), 28), oder 31) anders beantwortet?

ja ☐
nein ☐

Falls ja, welche Frage

- 34) Nehmen wir einmal an, Ihr Einkommen wäre um 20 % niedriger, hätten Sie dann die Fragen 27), 28) oder 31) anders beantwortet?

ja ☐
nein ☐

Falls ja, welche Frage

III Fragen zum Haushalt

- 35) Welcher Haushaltstypus liegt bei Ihnen vor?

1 Person ☐
2 Personen ☐
3 Personen ☐
4 Personen ☐
mehr als 4 Personen-
haushalt ☐

- 36) Bitte geben Sie die jeweilige Anzahl an

Kinder
(bis 15 Jahre alt) ☐
Erwachsene
16 - 35 Jahre ☐
36 - 60 Jahre ☐
über 60 Jahre ☐

- 37) Wie hoch ist das monatliche Netto-Einkommen des Haushalts?

unter 1000 DM ☐
1000 - 1800 DM ☐
1800 - 3000 DM ☐
3000 - 4000 DM ☐
4000 - 6000 DM ☐
über 6000 DM ☐

- 38) Welche Veränderung der Anzahl Ihrer Haushaltsmitglieder und des gemeinsamen Einkommens erwarten Sie innerhalb der folgenden 7 Jahre?

Wegen der geringen Zahl der Bearbeitungen sind die Resultate eher qualitativ zu verstehen. Wir werden uns daher auf die Bereiche beschränken, bei denen bereits qualitative Aussagen wichtig sind.

Im Einleitungsteil wurde die Wichtigkeit einer Reihe von Gesichtspunkten abgefragt. Bei 01) wurden bei sieben der neun Gesichtspunkte überwiegend der höchste Wert angekreuzt, so daß Mittelwerte zwischen 7,2 und 9,1 erzielt wurden. Der tägliche Aufwand wurde gestreuter beurteilt mit Mittelwert 6,9. Stark streuten nur die Angaben zur "Marktbeobachtung, um im richtigen Zeitpunkt Brennstoff einzukaufen". Es trat ein Mittelwert von 4,3 und ein Häufungspunkt bei 1 auf. Zu Punkt 02) wurden u.a. noch genannt Platzbedarf, Wartungsfreundlichkeit und technische Sicherheit.

Bereits die wenigen Antworten bestätigen, daß häufig Extrempositionen angegeben werden, daß aber wohl insgesamt nach den wesentlichen Gesichtspunkten gefragt wurde. Die Angabe von extrem hoher Wichtigkeit besagt jedoch nicht viel. So erhält hier auch die langfristige Versorgungssicherheit einen hohen Wert. Spätere Fragen des Fragebogens untersuchen den Zusammenhang zwischen Kosten, Regulationskomfort, d.h. Bequemlichkeit, und Versorgungssicherheit. Hierbei erhält Versorgungssicherheit eine untergeordnete Bedeutung. Man wird daher die Trade-offs der Größen untersuchen müssen, wenn man ein vertieftes Bild über die Wichtigkeit der genannten Gesichtspunkte erhalten möchte.

Die mittlere Temperatur t in Frage 8) wurde berechnet mittels $t = \sum f_i t_i / \sum f_i$ mit der Fläche f_i , die mit der angegebenen Temperatur t_i beheizt wird. Es ergab sich eine mittlere Temperatur von 19,71 °C mit der Standardabweichung $\sigma = 1,02$ °C.

Die Fragen 19) und 20) behandeln den Aspekt der Versorgungssicherheit. Weniger als die Hälfte der Beantworter glaubte, daß mit großer Wahrscheinlichkeit eine Verknappung bei Heizöl aufgrund politischer Auseinandersetzungen innerhalb der

nächsten sieben Jahre auftritt. Die so Antwortenden gaben überwiegend als Zeitraum den spätest-möglichen an. Die Wahrscheinlichkeiten für Sperrstunden bei Strom werden mit über 80 % als gering eingestuft, während bei Gas im letzten Zeitraum ein Drittel der Beantworter eine mittlere Wahrscheinlichkeit angaben und zwei Drittel eine niedrige Wahrscheinlichkeit. Bereits hier fällt auf, daß bei Frage 01) die langfristige Versorgungssicherheit wohl nur prinzipiell als wünschenswert angesehen wird.

Mit den Fragen 27) und 28) im Teil II des Fragebogens haben wir versucht, eine Trade-off-Kurve zwischen Heizungskosten und Senkung der mittleren Temperatur zu ermitteln. In den Abbildungen 3.1 und 3.2 sind die jeweiligen Mittelwerte der als möglich erachteten Temperatursenkungen angegeben. Die zugehörigen Standardabweichungen sind in den Antworten zu Frage 27) deutlich kleiner als die Mittelwerte, während sie bei Frage 28) etwas größer sind. In Abbildung 3.3 sind alle Punkte noch einmal aufgetragen, wobei die Markierungen gleicher Gestalt zum selben Ausgangspunkt der Heizungskosten gehören. Es sind einige Isonutzenkurven eingezeichnet, wenn man - wie die Abbildungen nahelegen - von quadratischen Trade-Off-Kurven ausgeht:

$$c + d (t_0 - t)^2 = \text{const.}$$

mit den Heizungskosten c , einer Konstanten $d > 0$ und der Konstanten const. , die in der Parabelschar die spezielle Parabel festlegt. t_0 wird als gemeinsame Konstante der Parabeln angesetzt.

Die Abbildung 3.4 veranschaulicht die Heizungskosten, die man im Mittel bereit ist, mehr zu zahlen für eine Erhöhung der Versorgungssicherheit. Die unteren Punkte geben die Ausgangssituation, die oberen die hypothetischen neuen Kosten- und Versorgungssicherheitssituationen an. Die Standardabweichungen der Kostenveränderungen liegen zwischen 10 % und 50 % der Mittelwerte. Es läßt sich ablesen, daß die Versorgungssicherheit gegenwärtig nicht als Problem empfunden wird.

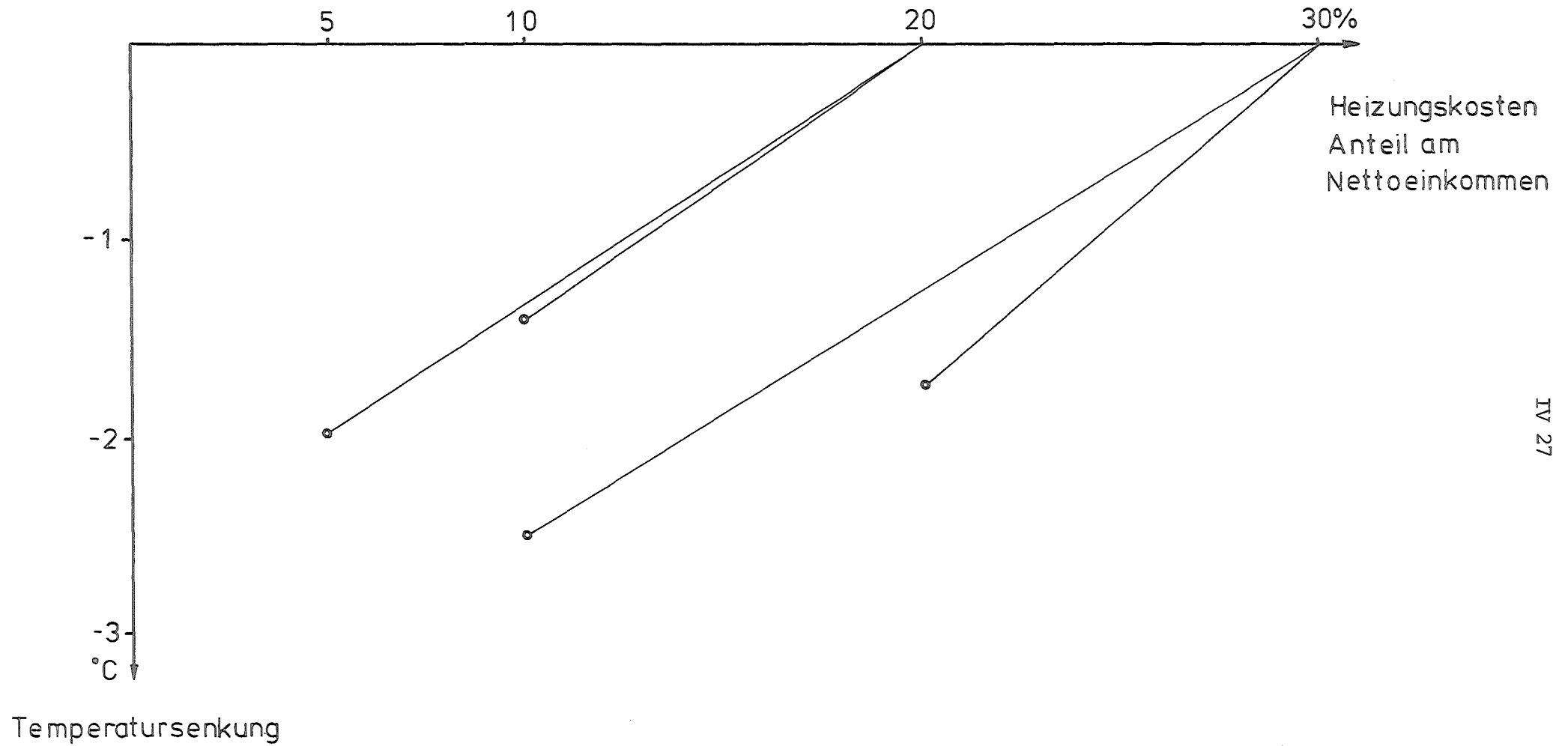
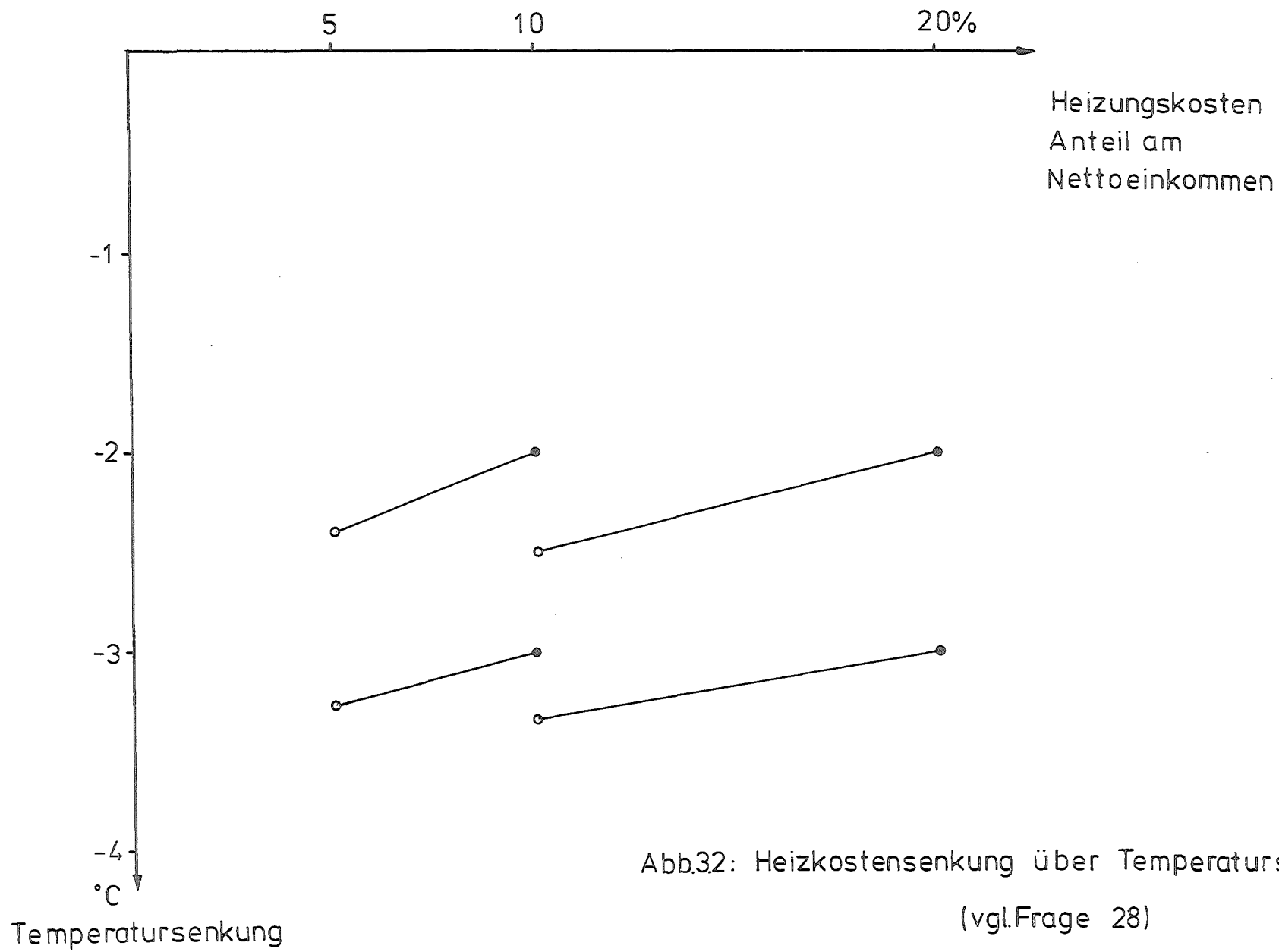


Abb.31: Heizkostensenkung über Temperatursenkung
(vgl. Frage 27)



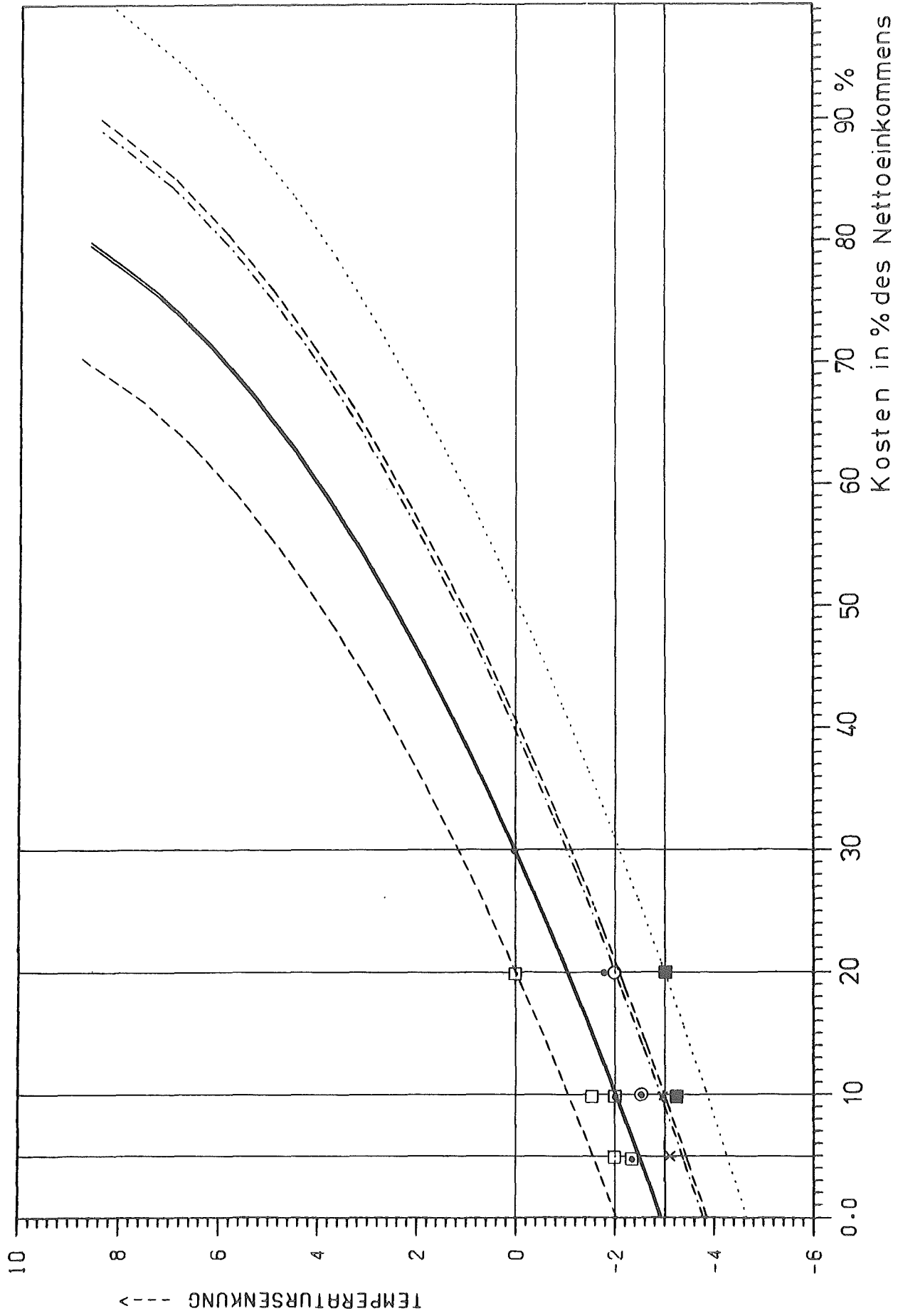


Abb33: Heizkostensenkung über Temperatursenkung (vgl. Frage 27 u. 28)

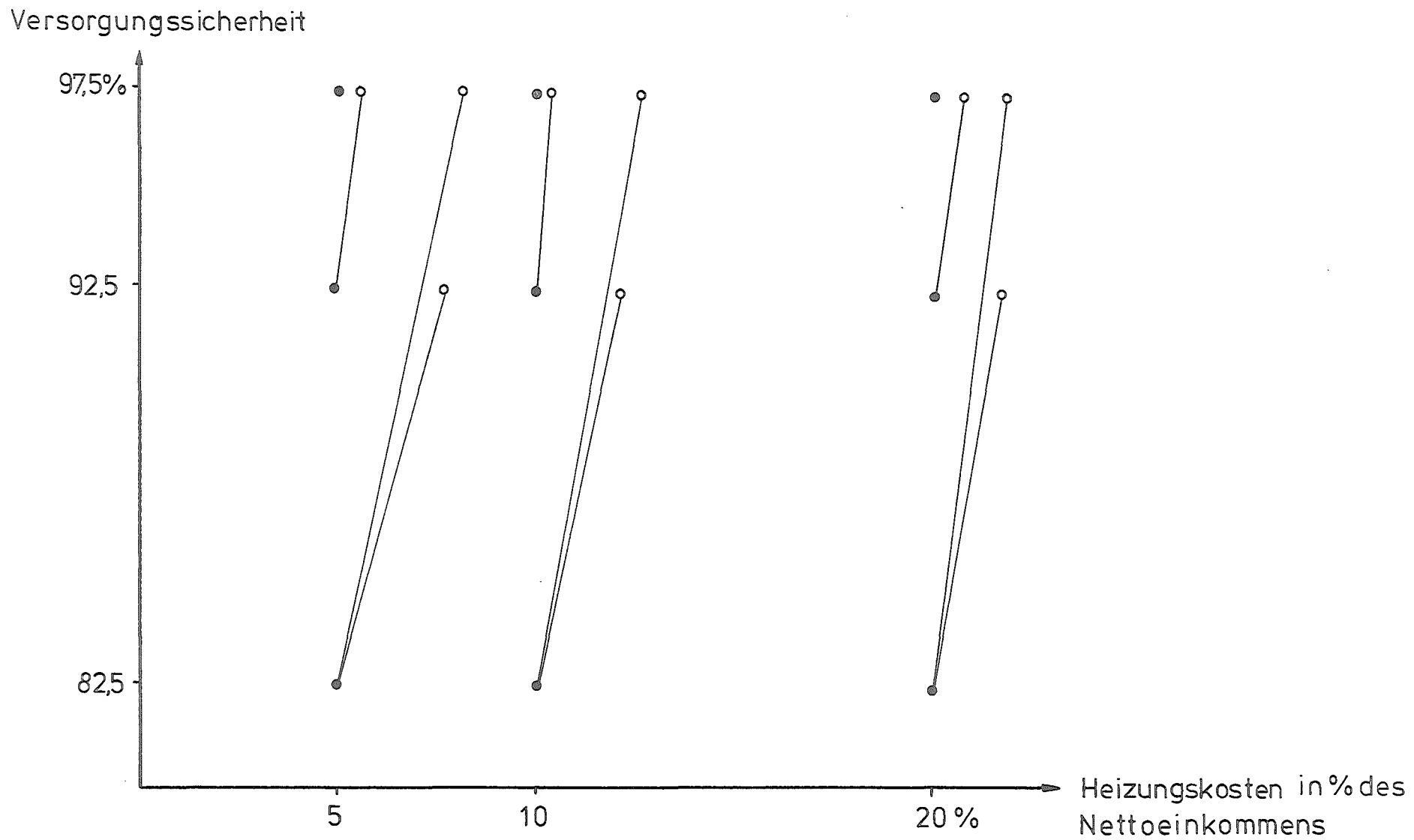


Abb.34: Die Bereitschaft "mehr Kosten für mehr Sicherheit"

(vgl. Frage 29)

In der Frage 30) wurde gebeten, einen Grad der Bequemlichkeit zwischen 1 und 10 der angegebenen Heizungssysteme anzugeben. Es ergaben sich die folgenden Mittelwerte und Standardabweichungen:

	Bequemlichkeit	
	Mittelwert	Standardabweichung
Einzel- und Mehrraumöfen für		
Feste Brennstoffe	1,1	0,31
Heizöl	2,85	1,18
Gas	4,85	2,03
Strom	7,35	2,39
Zentralheizungsanlage für		
Feste Brennstoffe	3,1	1,41
Heizöl	7,3	1,78
Gas	9,05	1,39
Fernwärme	9,72	0,83
Heizöl kombiniert mit elektrischer Wärmepumpe	7,53	1,43
Heizöl kombiniert mit Solaranlage	6,72	1,64

Es fallen signifikante Unterschiede in der Einschätzung der Bequemlichkeit der Heizungssysteme auf.

Die Antworten zum Trade-off Heizungskosten gegen Bequemlichkeit sind dargestellt in Abbildung 3.5 in der folgenden Weise: Aus den Fragebogen wurden jeweils die herausgesucht, die z.B. den Übergang in Bequemlichkeit von 10 auf 8 aufweisen und unter ihnen der Mittelwert gebildet. Es entsteht ein diffuses Bild, in das sich etwas willkürlich ein Trade-off "Kosten gegen Bequemlichkeit" hineinzeichnen läßt (vgl. folgende Abb. 3.6)

Bequemlichkeit

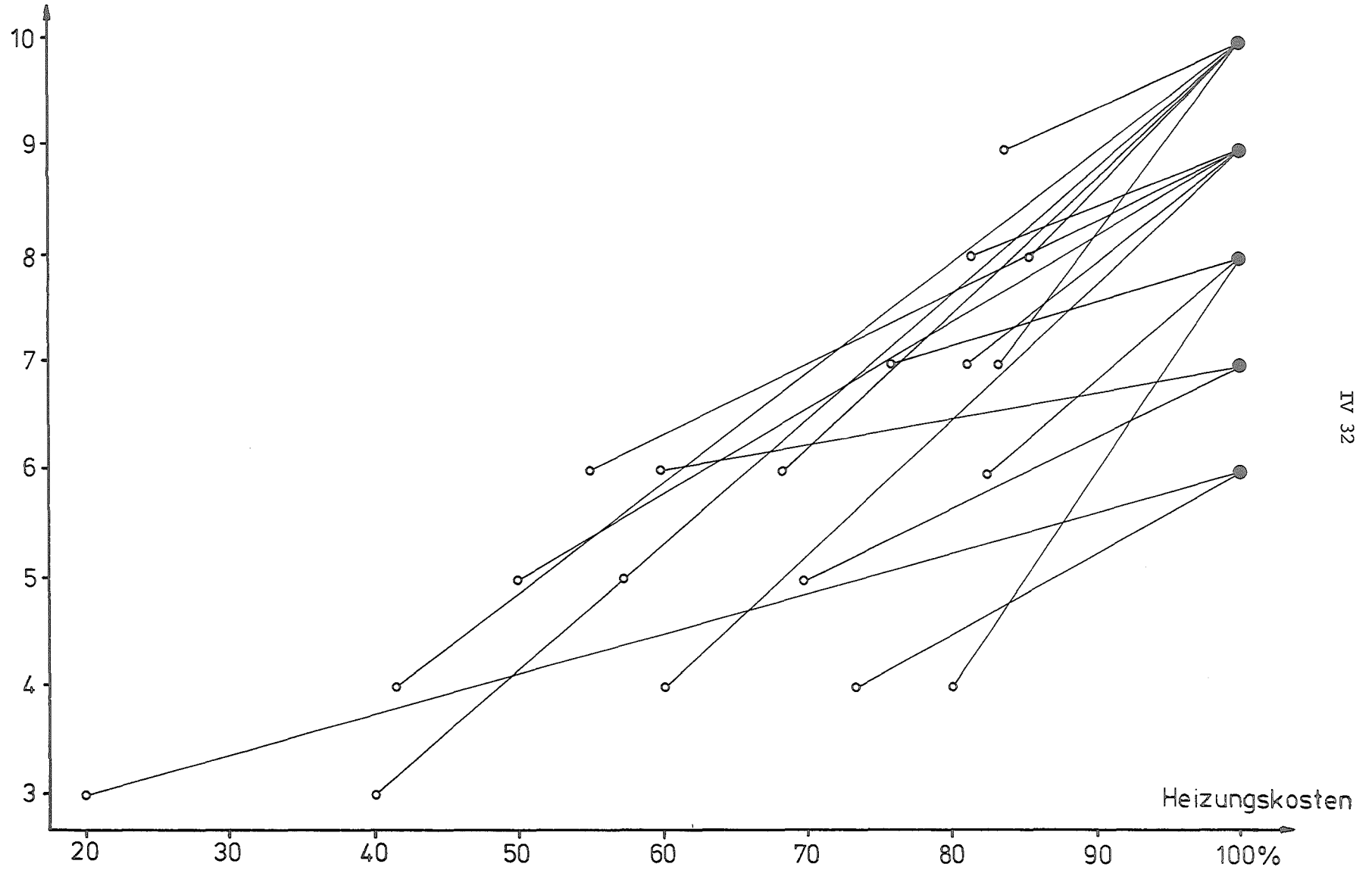


Abb.3.5 : Trade-off Bequemlichkeit zu Kosten (vgl. Fragen 30,31)

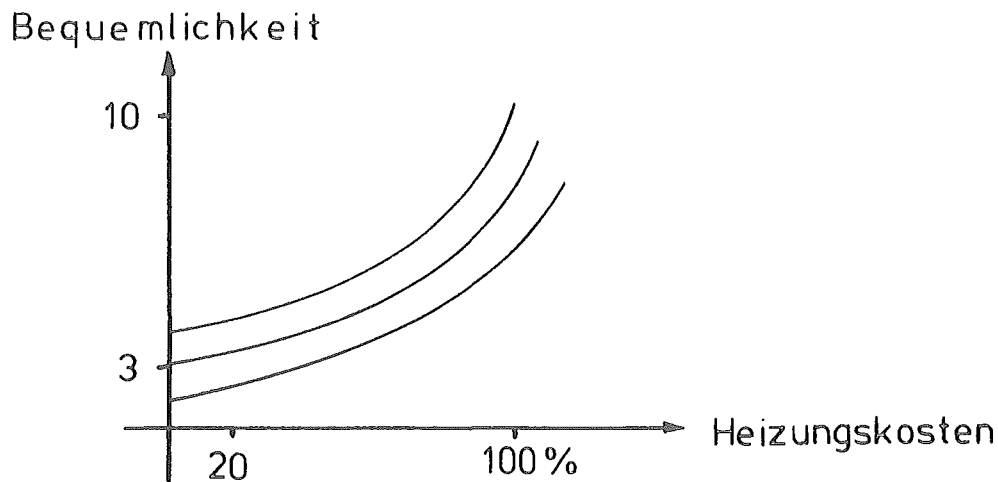


Abb.3.6 Trade-off Bequemlichkeit zu Kosten

Die Daten sprechen jedoch mehr dafür, daß genauer aufgegliedert ist, was Bequemlichkeit darstellt. Dies wird etwa so zu geschehen haben, daß genau definierbare Aktionen wie "eine halbe Stunde reinigen, Asche von 1 kg wegbringen, oder 1 h auf die Lieferung warten" in ihrem Ausmaß bewertet und vielleicht mit Hilfe der Faktorenanalyse oder anderer multivariater Verfahren strukturiert werden. Dann läßt sich hoffen, daß ein einheitlicheres Bild entsteht. Die Uneinheitlichkeit entsteht nicht durch die dargestellte Art der Auswertung. Berechnet man vielmehr die Bequemlichkeitsmittelwerte der Anlagen und geht dann z.B. vom Mittelwert der Bewertungen der bequemsten zu dem Mittelwert der Bewertungen der zweitbequemsten Anlagen über, so erhält man die einfachere Abbildung 3.7. Dies erlaubt aber auch nicht, einen eindeutigen funktionalen Zusammenhang zu erkennen.

Die Antworten zur Frage 32) zeigen ein ähnlich diffuses Bild wie die Antworten zur Frage 31). Aber es läßt sich auch hier erkennen, daß ein starker Anstieg an Versorgungssicherheit verlangt wird, wenn ein Verlust an Bequemlichkeit hingenommen werden soll.

Bequemlichkeit

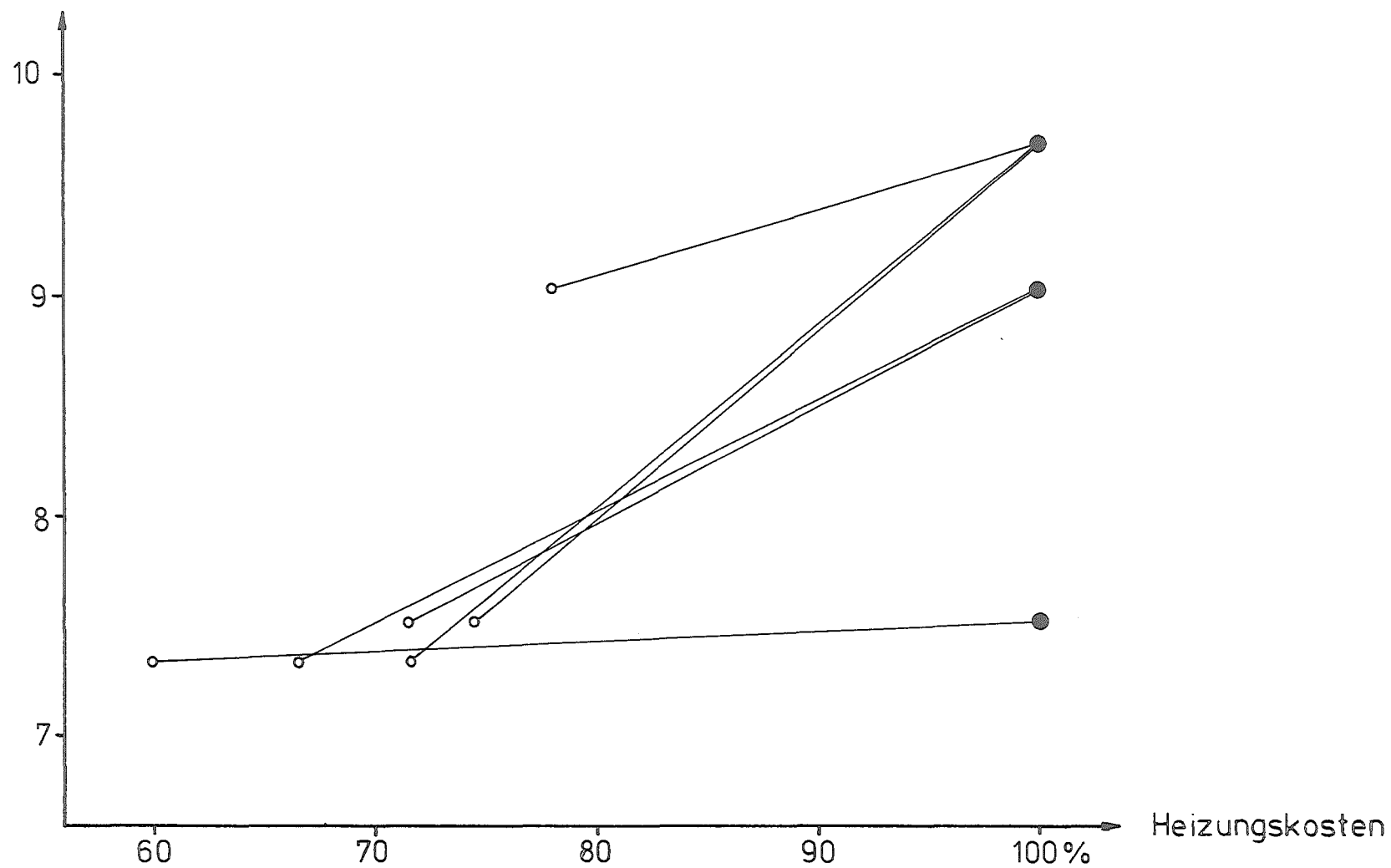


Abb.3.7 : Trade-off Bequemlichkeit zu Kosten (vgl. Fragen 30,31)

Überraschenderweise wurde gerade der Teil II des Fragebogens fast vollständig beantwortet, obwohl es an Hinweisen, daß man solche Fragen nicht beantworten könne, nicht fehlte. Der Zweifel, ob diese Antworten die im konkreten Fall vorliegende Einstellung wiedergeben, kann nicht grundsätzlich zurückgewiesen werden. Deshalb stellt sich die Frage, ob man hier nicht übergehen muß zu Interviews, in denen man diese hypothetischen Entwicklungen konkreter ausmalen kann und vielleicht noch Familienentscheidungsprozesse einbeziehen kann. Für Untersuchungen in einem solchen Rahmen aber wird man den Aufwand um ein Vielfaches erhöhen müssen.

4 Das Nachfragemodell

Grundsätzlich wäre es wünschenswert, die Nachfrage nach Raumwärme für Ein- und Zweifamilienhäuser im Rahmen einer Untersuchung aller Ausgaben privater Haushalte zu behandeln, wobei die Einbettung in die Gesamtwirtschaft zu erfolgen hätte. Im Rahmen dieser Arbeit müssen wir uns jedoch auf einige wenige besonders relevante Bestandteile der Gesamtwirtschaft beschränken und die Anknüpfungen an die anderen Bestandteile exogen vorgeben.

Mit sehr unterschiedlichem Detaillierungsgrad werden wir die öffentliche Hand, die Bereitstellung der Energie zur Erzeugung von Raumwärme, die Heizungsanlagenindustrie und die Verbraucher darstellen. Das Modell sieht aktives Handeln nur auf der Seite der öffentlichen Hand vor. Die restlichen drei ökonomischen Agenten sind so formuliert, daß sie auf die durch die öffentliche Hand mitbestimmten ökonomischen Bedingungen in einer in ihren Konsequenzen bekannten Weise reagieren.

Das Modell läuft im Zeitraum 1980 bis 2030, da bei Nutzungszeiten der Heizungsanlagen von bis zu 25 Jahren ein geringerer Zeitraum nicht viel Sinn macht. Während die Bewohner ihren Raumwärmeenergieverbrauch in jedem Jahr neu festlegen können, kann die öffentliche Hand ebenfalls jährlich die Steuern auf die Brennstoffe neu festlegen. Jedes fünfte Jahr können Investitionen in neue Heizungsanlagen oder Regulierungssysteme oder Hausisolierungen durchgeführt werden, die durch direkte Subventionen der öffentlichen Hand für den Käufer verbilligt sein können.

Wir gehen aus von vier Energieträgern:

- feste Brennstoffe (Kohle, Koks, Holz, Torf)
- Heizöl
- Gas
- Strom.

Für jeden der vier Energieträger l nehmen wir an, daß eine stetige, streng monoton steigende Preis-Angebotskurve (vgl. Abb. 4.1).

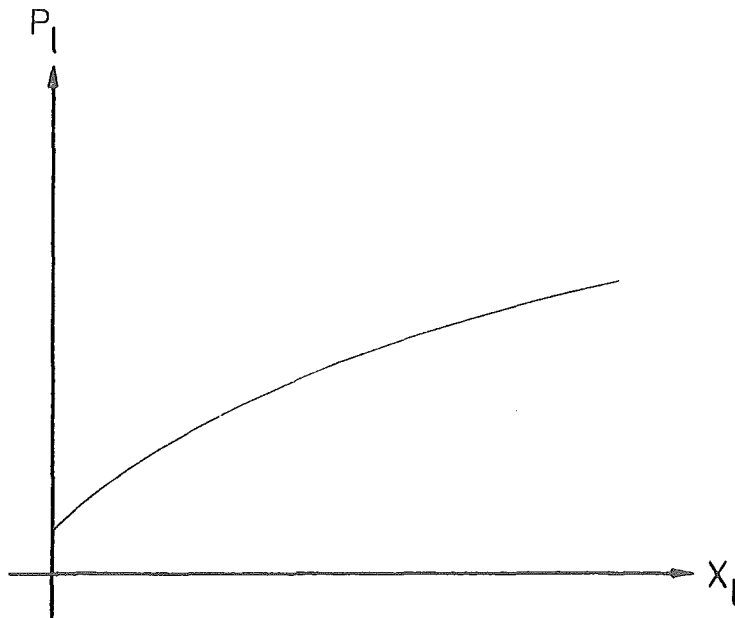


Abb.4.1: Preis- Angebotskurve

$$(4.1) \quad p_l = f_l(x_l, s_{1z}, a_{1z})$$

existiert mit p_l als Preis je Energieeinheit, s_{1z} als zusätzliche Steuer auf die Energieeinheit und a_{1z} als ein Satz von Parametern, der die Preis-Angebotskurve bestimmt. Eine solche Kurve ist z.B. festgelegt durch

$$(4.2) \quad p_l = a_{11z} \times a_{21z} + a_{31z} + s_{1z}$$

mit $a_{11z} > 0$, $a_{21z} > 0$, $a_{31z} \geq 0$, $s_{1z} \geq 0$.

Hierbei sei p_l der Preis, den der Verbraucher zu bezahlen hat. Um nicht mit inflationsbedingten Preissteigerungen rechnen zu müssen, werden wir im folgenden in Realwerten rechnen. Dann scheint es erlaubt, die Parameter $a_{1z} = (a_{11z}, a_{21z}, a_{31z})$ über mehrere Jahre hinweg konstant zu halten. Wir stellen uns hierbei vor, daß a_{1z} in erster Linie durch die Einflüsse des

Weltmarktes verändert wird. Der im Jahr z realisierte Preis p_1 wird festgelegt durch den Schnittpunkt der Preis-Angebotskurve (4.1) und der noch abzuleitenden Preis-Nachfragekurve der Verbraucher.

Zur Vereinfachung des Modells lassen wir investive Maßnahmen nur für jedes fünfte Jahr zu. In Anbetracht der Vielzahl der Hersteller scheint es erlaubt, davon auszugehen, daß die Verkaufspreise der Heizungsgeräte, Regulierungseinrichtungen oder Isolationsmaterialien primär kostenorientiert sind. In diesem Sinne werden wir monoton fallende Preis-Angebotskurven

$$(4.3) \quad q_m = g_m(y_m) - h_{mz}$$

voraussetzen, wobei q_m den Preis je Einheit und y_m die angebotene Menge bezeichne.

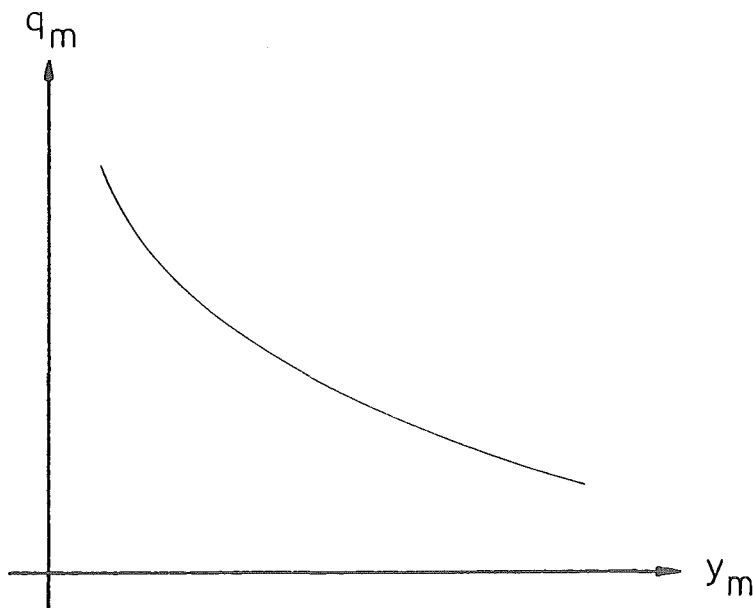


Abb.4.2: Preis-Angebotskurve für Investitionen

Als Beispiel sei die folgende Kurve gegeben:

$$(4.4) \quad q_m = \frac{b_{1m}}{(y_m - b_{2m})^{b_{3m}}} + b_{4m} - h_{mz}$$

mit $b_{1m}, b_{2m}, b_{3m}, b_{4m} \geq 0$. Die Größe $h_{mz} \geq 0$ bezeichne die direkte Subvention zur investiven Maßnahme m . Zu diesen Kosten können noch bauliche Nebenkosten kommen, die von dem jeweils vorliegenden Haus abhängen.

Eine Strategie oder Politik oder ein Plan der öffentlichen Hand besteht also aus einer Folge $(s_{1,z})_{1=1, 2, 3, 4; z=1, 2, \dots, 50}$ von zusätzlichen Steuern je Energieeinheit und einer Folge $(h_{m,z})_{m \in M, z=5, 10, \dots, 50}$ von Subventionen für die Menge M aller in Betracht zu ziehenden investiven Maßnahmen. Eine solche Politik sei hier prinzipiell nur als kostendeckend angesetzt, d.h. wird fordern

$$(4.5) \quad \sum_{\tau=z-5}^{z-1} \sum_{l=1}^4 s_{l,\tau} \geq K + \sum_{m \in M} h_{m,z-5}$$

für eine vorzugebende Schranke K .

Die Bewertung einer Politik $(s_{1,z}, h_{m,z})$ und somit die Definition einer optimalen Politik kann erst nach der noch folgenden Aufstellung des Verhaltens- und Investitionsmodells der Bewohner der Ein- und Zweifamilienhäuser erfolgen.

4.1 Schichtung der Haushalte in den Ein- und Zweifamilienhäusern

Bestimmungsgrößen des Energieverbrauchs für Raumheizung sind die technischen Gegebenheiten des Hauses und der Heizungsanlage wie:

- freistehendes Einfamilienhaus, Reiheneckhaus oder Doppelhaushälfte, Reihnhaus, freistehendes Mehrfamilienhaus, ...
- Alter des Hauses
- Wert des Hauses
- Wohnfläche
- Fensterarten und Fensterschutzeinrichtungen
- Kompaktheit des Gebäudes
- Wärmedurchlaß durch Außenwand, Dach und Kellerdecke
- Heizungssystem: Einzelofen/Zentralheizung, Energieträger, Art der Regulierung, ...
- ...

und den sozio-ökonomischen Gegebenheiten der Haushalte wie:

- soziale Stellung des Haushaltsvorstandes: Landwirt, Selbständiger, Angestellter, Arbeiter, Nichterwerbstätiger
- Alter des Haushaltsvorstandes
- Schulbildung des Haushaltsvorstandes
- Haushaltsgröße
- Erwerbstätigkeit: Anzahl der erwerbstätigen Personen im Haushalt, Haushaltseinkommen
- Anzahl und Alter der Kinder
- Sparvermögen am Ende des Vorjahres
- ...

Zusätzlich nehmen wir noch die Kategorien "gut informiert" beziehungsweise "schlecht informiert" über Einsparmöglichkeiten auf. Eine Einstufung könnte in Anlehnung an Socialdata (1982, S. 73ff) erfolgen.

Für jede der genannten Bestimmungsgrößen ist dann eine Einteilung in wenige Gruppen mit unterschiedlichen Merkmalausprägungen vorzunehmen. Ist für jeden der wesentlichen Bestimmungsfaktoren die endliche Anzahl der Merkmal-

ausprägungen A_i , so ist jeder Haushalt durch einen der $\prod_{i=1}^n A_i$ möglichen Vektoren charakterisiert.

Es läßt sich hierbei leicht eine Zahl in Millionengröße erreichen. Bezeichnen wir die Menge der Haushalte mit einem gemeinsamen Merkmalausprägungsvektor als Klasse, so wird eine Vielzahl von Klassen leer sein oder nur wenige Haushalte enthalten. Man wird daher, um eine bearbeitbare Größe des Modells zu erreichen, solche Klassen weglassen oder die Haushalte so neu gliedern, daß nur einige tausend Klassen übrigbleiben und die Übergänge von Periode zu Periode für das zu bearbeitende Problem noch ausreichend präzise sind.

Für die quantitative Durchführung der Reduktion der Klassenanzahl können die Methoden der multivariaten Statistik wie Faktorenanalyse, Diskriminanzanalyse und Cluster Analyse herangezogen werden. Inhaltlich läßt sich die Idee des Lebenszyklus mit einer mit dem Alter zusammenhängenden Haushaltsgröße und Ausgabeverhalten verwenden. Zusammenhänge von Hauseigentum, sozialer Stellung und Einkommen zeigen sich darin, daß bei Eigenheimen Selbständige überwiegend vertreten sind. Außerdem sind Hauseigentümer überwiegend gut über Energiesparmöglichkeiten informiert. Es scheint, daß eine voll befriedigende Schichtung der Haushalte noch nicht stattgefunden hat trotz der vielversprechenden Resultate etwa in Socialdata (1982, S. 37ff). In Kapitel 5 werden wir jedoch ein vereinfachtes Modell darstellen, in dem wir hypothetisch von Überlappungen von speziellen Haustypen und Haushalten ausgehen.

4.2 Jahresverbrauch an Raumwärmeenergie

Der Jahresverbrauch eines Haushaltes hängt neben der Wärmedurchlässigkeit des Hauses und dem Wirkungsgrad des Heizsystems von den Behaglichkeitsvorstellungen, dem Verlauf der Außentemperatur und den Energiepreisen ab. Zu berücksichtigen ist noch, ob die Haushalte von dem Sparpotential durch Tag- und -nachtsabsenkung und anderen Gewohnheiten wissen. Der Bequemlichkeitsverlust durch Handregelung wie auch eine Reihe sonstiger Faktoren sei hierbei nicht berücksichtigt. Analog zu J.A. Hausman (1979) gehen wir von einer Nutzenfunktion aus, die Unbehaglichkeit auf Grund nicht eingestellter Temperaturwünsche berücksichtigt, aber auch die Heizungskosten für das ganze Jahr einbezieht.

Zur Vereinfachung sei angenommen, daß Zweifamilienhäuser von zwei ähnlichen Familien bewohnt werden, so daß eine besondere Unterscheidung der Haushalte nicht notwendig ist. Ein beliebiger Haushalt aus einer der Klassen k , wobei $K \ni k$ die Menge der relevanten Klassen bezeichne, besitze eine Nutzenfunktion

$$(4.6) \quad u'_k(t, c) = e_k - c_k - d_k (t_k - t)^2$$

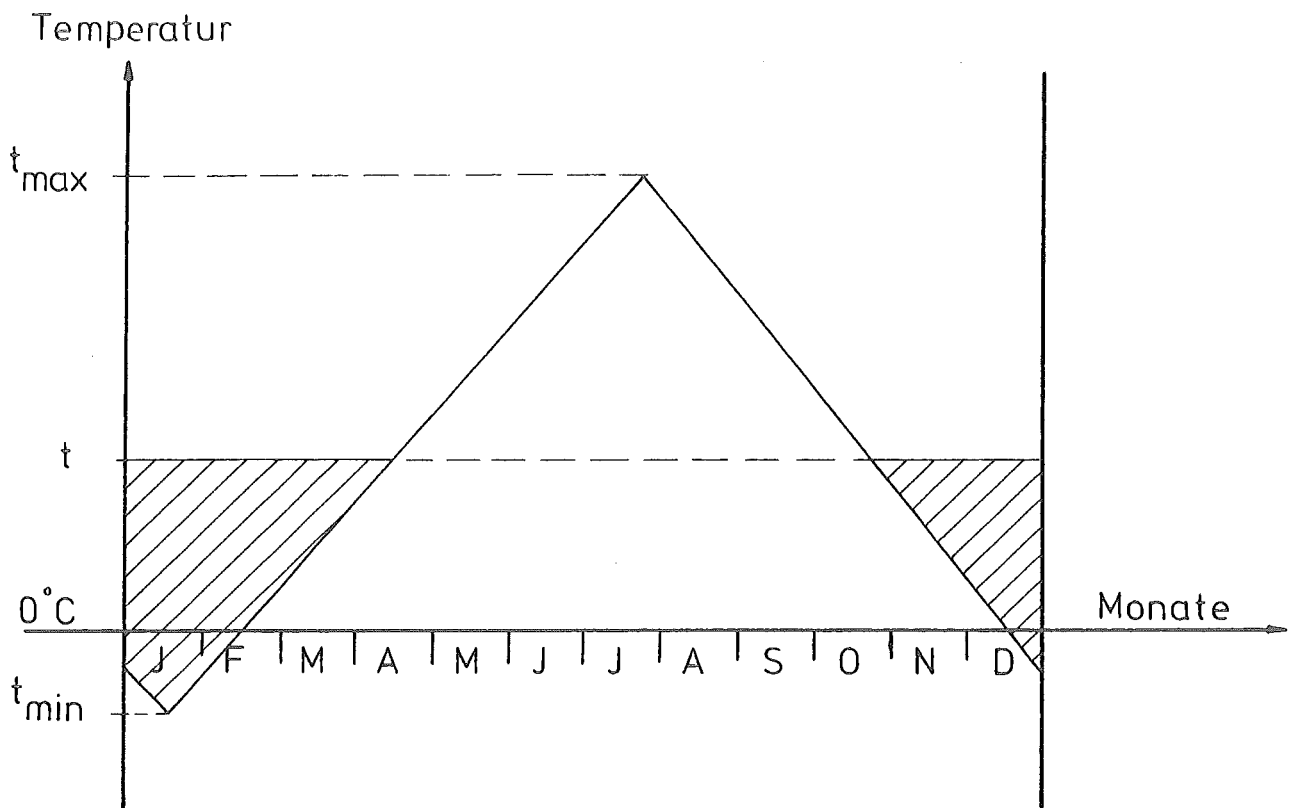
wobei e_k das verfügbare Einkommen des Haushaltes, $c_k > 0$ die variablen Betriebskosten der Heizungsanlage und $d_k > 0$ einen von der Klasse k abhängigen Bewertungsparameter bezeichne. t gebe die mittlere Temperatur an, die mit der Heizung in der kalten Jahreszeit erzeugt wird. t_k kann als "Wunschtemperatur" gedeutet werden, so daß $d_k (t_k - t)^2$ das Ausmaß der Unbehaglichkeit wegen der Abweichung $t_k - t \geq 0$ von der "Wunschtemperatur" angibt. Durch die Zugehörigkeit zur Klasse k ist auch festgelegt, ob der Haushalt als gut informiert über Energiesparmöglichkeiten gilt. Ist das der Fall, so wird hier angenommen, daß Nacht- und vielleicht Tagabsenkung erfolgt, wofür nach Recknagel-Sprenger (1979, Tafel 266-20, S. 824) 10 bis 16 % Verbrauchsreduktion anzusetzen ist. Unterscheiden sich also die Klassen k und k' nur in der Information über Einsparmöglich-

keiten, so werden sich c_k und c_k' um den entsprechenden Prozentsatz unterscheiden. Der Fall sei nicht betrachtet, daß der Haushalt von der Bedeutung der Nachtabenkung weiß und sie dennoch wegen höheren Regulationsaufwandes nicht durchführt.

Statt der Nutzenfunktion u'_k wird später eine Nutzenfunktion u_k benutzt, die auch Investitionskosten, Bequemlichkeitsparameter und einen Versorgungssicherheitsparameter berücksichtigt. Diese Parameter sind dann wichtig, wenn der Kauf von Anlagen oder Teilsystemen ansteht. Während u'_k die Unbehaglichkeit bezüglich t unabhängig von der Heizzeit ansetzt, bewertet J.A. Hausman Unbehaglichkeit unter Einbeziehung der Grad-Stunden im Jahr und quadriert dann diesen Term. Der hierdurch erhöhte rechnerische Aufwand wird in Grenzen gehalten dadurch, daß eine einfache exponentielle Funktion für die Grad-Stunden über einer Temperatur im Jahr verwandt wird.

Im Rahmen der Datenunsicherheit aus dem sozio-ökonomischen Bereich scheint es gerechtfertigt, mit Heiztaggraden zu arbeiten, wobei es ausreichend erscheint, statt der Kurven, wie sie in Recknagel-Sprenger (1979, Bild 112-3, S. 11) wiedergegeben sind, einfache Polygonzüge zu verwenden (vgl. Abbildung 4.3).

Es sei darauf hingewiesen, daß in Recknagel-Sprenger Gradtage etwas anders definiert sind als sie in der Abbildung 4.3 angegeben sind. Die hierbei angegebenen Gradtage als Fläche zwischen der Temperatur t und der Außentemperatur mit der Dimension $\text{Zeit} \cdot ^\circ\text{C}$ gibt auf Grund der Tagesmittelung nur angenähert ein Maß für Heizwärmebedarf an. Eine genaue Ermittlung müßte die Gradstunden berücksichtigen, d.h. die Tagesschwankungen und die Speicherung der Wärme in den Häusern, was das Heizen in den Abendstunden unnötig machen kann. Da es uns um das Gesamtbild geht, verzichten wir hier auf diese aufwendige Präzisierung.



Gradtage der Abweichung der
Außentemperatur von t

Abb.4.3: Jährlicher Gang der mittleren Tagestemperatur der Luft

Die Außentemperatur sei festgelegt durch

$$(4.7) \quad t_a(z) = \begin{cases} \frac{t_{\min} - t_{\max}}{182,5d} (z - 15,2d) + t_{\min} & \text{für } 0 \leq z \leq 15,2d \\ \frac{t_{\max} - t_{\min}}{182,5d} (z - 15,2d) + t_{\min} & \text{für } 15,2d \leq z \leq 197,7d \\ \frac{t_{\min} - t_{\max}}{182,5d} (z - 197,7d) + t_{\max} & \text{für } 197,7d \leq z \leq 365d \end{cases}$$

mit t_{\max} und t_{\min} als maximaler beziehungsweise minimaler mittlerer Tageslufttemperatur im Jahr und z als Zeit seit Beginn des Jahres. Die Gradtage $G(t)$ für die Abweichung der Außentemperatur t_a von der Temperatur t ergeben sich zu

$$G(t) = \int_0^{365d} \max(0, t - t_a(z)) dz$$

oder

$$(4.8) \quad G(t) = 185,2 \, d \frac{(t - t_{\min})^2}{t_{\max} - t_{\min}} \quad \text{für } t_{\min} \leq t \leq t_{\max}$$

In die Berechnung des Wärmebedarfs (vgl. Recknagel-Sprenger (1979)) fließen eine Reihe von Faktoren ein, wie Lage der beheizten Räume im Haus, Hauskenngröße und Lüftungswärmebedarf. Wir gehen davon aus, daß die Wärmedurchgangszahlen der Außenwände so umgerechnet sind, daß sich der Wärmebedarf als Transmissionswärmebedarf der Außenwände mit gleicher Innentemperatur darstellen läßt:

$$(4.9) \quad \dot{Q}(t) = K \cdot A \cdot (t - t_a)$$

$Q(t)$ bezeichne den Wärmebedarf, A die Außenfläche, K die Wärmedurchgangszahl in $W/m^2 \, ^\circ C$ und $t - t_a \geq 0$ die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außentemperatur. Bei einer während der Heizperiode auf t gehaltenen mittleren Innentemperatur ergibt sich somit ein Jahreswärmebedarf

$$(4.10) \quad Q(t) = K \cdot A \cdot G(t)$$

Die Außenfläche ist hierbei im Zweifamilienhaus anteilig umzurechnen. Für jeden Haushalt hängt $Q(t)$ ab von den klassenspezifischen Größen K_k und A_k .

Der Jahresbrennstoffverbrauch $B'(t)$ ergibt sich aus dem Jahreswärmebedarf $Q(t)$ und dem Gesamtwirkungsgrad η , der sich zusammensetzt aus dem Kesselwirkungsgrad, dem Verteilungswirkungsgrad und dem Stillstands-Korrekturfaktor.

$$(4.11) \quad B'(t) = \frac{1}{\eta} Q(t)$$

Für einen Haushalt ist γ durch die Klassenzugehörigkeit festgelegt, d.h.

$$(4.12) \quad B'_k(t) = \frac{1}{\gamma_k} K_k \cdot A_k \cdot G(t)$$

gibt angenähert den Jahresbrennstoffverbrauch (in Energieeinheiten) eines Haushaltes der Klasse k bei einer mittleren Innentemperatur t während der Heizperiode an. Bezeichnet H_u den Heizwert des Brennstoffs in üblicher Mengenangabe (z.B. kWh/kg, kWh/l oder kWh/m³), so ist der Jahresbrennstoffverbrauch $B(t)$ in Mengeneinheiten gegeben durch

$$(4.13) \quad B_k(t) = \frac{1}{H_u} \cdot \frac{1}{\gamma_k} \cdot K_k \cdot A_k \cdot G(t)$$

Der Preis des zugehörigen Energieträgers l je Mengeneinheit sei p_l . Indem wir als variable Betriebskosten $c_k(t)$ nur die Brennstoffkosten betrachten, erhalten wir

$$c_k(t) = p_l B_k(t)$$

Der Nutzen u'_k , definiert in (4.6), hat den Wert

$$(4.14) \quad u'_k(t) = e_k - \frac{1}{H_u} \cdot \frac{1}{\gamma_k} \cdot K_k \cdot A_k \cdot p_l \cdot G(t) - d_k (t_k - t)^2$$

Sei $g_k := \frac{1}{H_u} \cdot \frac{1}{\gamma_k} \cdot K_k \cdot A_k$, so führt die Frage der optimalen

Temperatur t auf die Maximierung der in t quadratischen Funktion

$$(4.15) \quad u'_k(t) = e_k - g'_k p_l - \frac{185,2d}{t_{\max} - t_{\min}} (t - t_{\min})^2 - d_k (t_k - t)^2$$

für $t_{\min} \leq t \leq t_{\max}$. Schließt k Informiertheit über Energiesparmöglichkeiten ein, so ist g'_k um 10-16 % kleiner als g_k anzusetzen, andernfalls als gleich. u'_k nimmt ihr Maximum an in

$$(4.16') \quad t_k^* = \frac{1}{d_k + p_1 g_k' \frac{185,2 d}{t_{\max} - t_{\min}}} \left(d_k \cdot t_k + p_1 \cdot g_k' \frac{185,2 d}{t_{\max} - t_{\min}} t_{\min} \right)$$

Aus $t_{\min} \leq t_k \leq t_{\max}$ folgt $t_{\min} \leq t_k^* \leq t_k$. Die optimale Temperatur t_k^* hängt gebrochen linear vom Preis p_1 ab. Sie fällt monoton von t_k für $p_1 = 0$ auf t_{\min} für $p_1 \rightarrow \infty$ und ist in dem Bereich $0 \leq p_1 < +\infty$ streng konvex. Der Haushalt aus der Klasse k verbraucht somit die Brennstoffmenge

$$(4.17) \quad B_k(t_k^*) = g_k'' \left(\frac{d_k (t_k^* - t_{\min})}{d_k + p_1 g_k''} \right)^2$$

wobei $g_k'' := g_k \frac{185,2 d}{t_{\max} - t_{\min}}$ gesetzt sei.

Lassen sich die Ausgaben für Heizenergie von dem Haushalt überhaupt tragen? Sie sind $c_k(t_k^*) = p_1 B_k(t_k^*)$. Wie man mit einfacher Anwendung der Differentialrechnung sieht, steigt $c_k(t_k^*)$ von $p_1 = 0$ an bis zum Preis $p_1 = \frac{d_k}{g_k''}$ und fällt für größere p_1 gegen Null mit $p_1 \rightarrow \infty$. Die maximalen Ausgaben belaufen sich dann auf $c_k^* = 1/4 d_k (t_k - t_{\min})^2$, d.h. einem Viertel des Gegenwertes des maximalen Unbehagens. Man wird erwarten, daß c_k^* das Einkommen überschreitet, so daß hier dann zusätzlich Budgetschränken zu berücksichtigen sind. Es ist anzunehmen, daß bei möglichen Ausgaben in der Größenordnung von c_k^* grundsätzlich andere Verhaltensformen auftreten.

Es bleibt noch die Frage zu klären, welcher Brennstoffpreis p_1 sich einstellen wird. Nach (4.1) ist $p_1 = f_1(x_1, s_{1t}, a_{1t})$ eine stetige streng monoton steigende Funktion im Angebot x_1 des Brennstoffs 1, oder äquivalent, $x_1 = f_1^{-1}(p_1, s_{1t}, a_{1t})$ wächst streng monoton mit dem Preis p_1 .

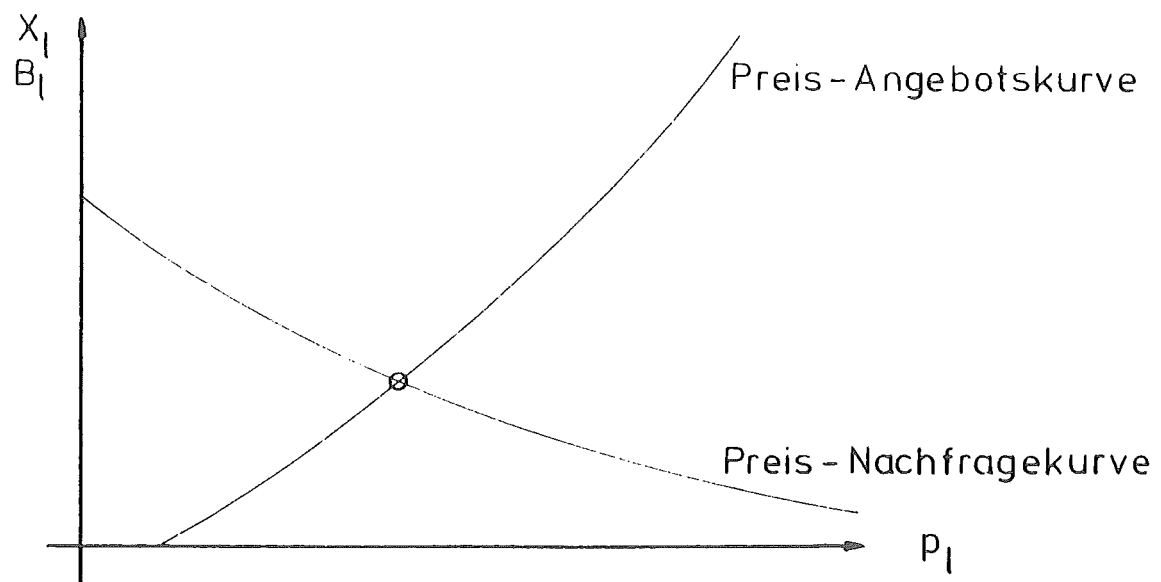


Abb.4.4 : Gleichgewichtspunkt

Von Extremfällen abgesehen (große Mengen Brennstoff kostenlos) existiert ein Schnittpunkt der Preis-Angebotskurve mit der Preis-Nachfrage-Kurve

$$(4.18) \quad B_l(p_l) := \sum_{k \in \mathcal{K}_l} m_k \cdot B_k(t_k^*(p_l))$$

wobei m_k die Anzahl der Haushalte in der Klasse k und \mathcal{K}_l die Mengen aller Klassen mit Energieträger l darstellt. Da B_l als Summe streng monoton fallender Funktionen ebenfalls streng monoton in p_l fällt, existiert dann genau ein Gleichgewichtspunkt, der wegen der Monotonie der beiden Kurven mit einem einfachen Iterationsverfahren gefunden werden kann. Der Gleichgewichtspreis sei mit p_l^* bezeichnet.

4.3 Investive Maßnahmen für die Raumheizung

Entscheidungen für Investitionen wie neue Kessel, Brenner, neue Regulierungssysteme, Übergang von der Einzelofen- zur Zentralheizung oder Verbesserung der Isolation, werden begründet mit dem Wunsch einer Erhöhung der Bequemlichkeit, des sozialen Ansehens, Verringerung der Heizkosten, insbesondere wenn die vorhandene Anlage ineffizient wird; während Versorgungssicherheit eher nachgeordnet ist. Der Entscheidungsspielraum kann jedoch durch Vorschriften oder technische Gegebenheiten eingeschränkt sein.

Für die rein ökonomischen Aspekte wird man zweckmäßigerweise einen unbegrenzten Planungshorizont zulassen, da im allgemeinen keine präzise Vorstellung über die Nutzungsdauer des Hauses besteht. Denkt man an den Ersatz einer Anlage durch eine identische für den Fall des unendlichen Planungshorizontes, d.h. eine Anlage wird immer wieder durch eine Anlage des gleichen Typs ersetzt, so ergibt sich als optimale Lebenszeit diejenige, bei der die Kostenannuität minimal ist (vgl. P. Swoboda 1971, S. 93). Für diskontinuierliche Zahlungen bzw. Verzinsungen gilt analog: Die optimale Lebenszeit der alten Anlage ist erreicht, wenn die zeitbezogenen Grenzkosten des Aggregats letztmals

kleiner als die durchschnittlichen Kosten einer Neuanlage sind bei optimaler Lebensdauer. Diese Aussage läßt sich sofort verallgemeinern auf den Fall, daß eine vorhandene Anlage irgendwann durch eine Anlage auch eines anderen Typs ersetzt werden soll, wobei anschließend der Typ beibehalten werden soll. Vorausgesetzt wird bei der Ableitung dieser Resultate, daß alle Anlagen unabhängig vom Zeitpunkt ihrer Inbetriebnahme die gleichen Zahlungsverläufe haben.

Für das anstehende Entscheidungsproblem werden wir die Idee, die Betriebskosten der alten Anlage mit der minimalen Kostenannuität einer Ersatzanlage zu vergleichen, beibehalten, obwohl auf Grund der sich verändernden Brennstoffpreise, des technischen Fortschritts und anderer Faktoren sich die Zahlungsströme - auch inflationsbereinigt - verändern.

Betrachten wir zunächst nur die Heizungsanlage, d.h. einen Ofen oder Kessel mit Brenner. Die Betriebskosten $Q(z)$ zum Zeitpunkt z seit Inbetriebstellung setzen sich zusammen aus den variablen Betriebskosten, die wir hier auf die Brennstoffkosten $c(t, z')$ beschränken, und den fixen Betriebskosten $f(z)$, die unter anderem Wartung und Instandhaltung umfassen. Steht g für den im vorangehenden Abschnitt 4.2 definierten Faktor g_k'' , so ergeben sich die Brennstoffkosten für die Anlage mit Alter z bei mittlerer Innentemperatur t zu

$$(4.19) \quad c(t, z') = g p(z') G(t)$$

mit dem Brennstoffpreis $p(z')$ zum Zeitpunkt z' . Ist z_0 der Zeitpunkt der Inbetriebnahme, so ergibt sich für die Betriebskosten

$$(4.20) \quad Q(z) = gp(z_0 + z) G(t) + f(z)$$

Der Term g oder g_k'' vergrößert sich im allgemeinen mit wachsendem Alter z wegen der nachlassenden Effizienz des Heizungs-systems. g kann dann etwa als affin-lineare Funktion in z angesetzt werden. Ohne wesentliche Einschränkung des Modells gehen wir davon aus, daß der Wartungs- und Instandhaltungsaufwand

so groß ist, daß keine wesentliche Vergrößerung von g auftritt. Entsprechend stark ist der Anstieg der fixen Betriebskosten f anzusetzen, etwa mittels einer Exponentialfunktion:

$$(4.21) \quad f(z) = \exp(\alpha + \beta z) \quad \text{mit} \quad \beta > 0$$

Sei r der vom Haushalt angesetzte Zinsfuß, dann hat eine neue Anlage mit den Investitionskosten I , dem Inbetriebnahmezeitpunkt z_1 , und der Lebenszeit z den Kapitalwert

$$L(z_1, z) = - \sum_{i=1}^z Q(i) (1+r)^{-i} - I$$

oder

$$(4.22) \quad L(z_1, z) = - \sum_{i=1}^z \{gG(t)p(z_1 + i) + f(i)\} (1+r)^{-i} - I$$

wobei der Koeffizient g sich jetzt entsprechend auf die neue Anlage bezieht. Die Kostenannuität ergibt sich zu

$$(4.23) \quad \text{Kostenannuität} = \frac{r(1+r)^z}{(1+r)^z - 1} (-L(z_1, z))$$

Die Lebensdauer z ist optimal, wenn die Kostenannuität minimal ist. Wegen des diskontinuierlichen Zahlungsstroms führt dies bei monoton steigenden Kosten $Q(i)$ auf die Bedingung, z so zu suchen, daß letztmals gilt

$$(4.24) \quad -Q(z) \geq \frac{r(1+r)^z}{(1+r)^z - 1} L(z_1, z)$$

Bezeichne z_L die Lösung von (4.24) für die neue Anlage mit Inbetriebnahmezeitpunkt z_1 . Im Sinne dieser Regel ist dann die alte Anlage "zwischen den Zeitpunkten z_1 und $z_1 + 1$ " gegen die neue Anlage auszutauschen, wenn für die Betriebskosten Q_{alt} letztmals gilt (vgl. etwa P. Swoboda (1971), S. 92f)

$$(4.25) \quad -Q_{\text{alt}}(z_1) \geq \frac{r(1+r)^{z_L}}{(1+r)^{z_L} - 1} L(z_1, z_L)$$

Wie läßt sich die in (4.25) gefaßte Regel für das Modell auswerten? Um den numerischen Aufwand in tragbaren Grenzen zu halten, lassen wir investive Maßnahmen nur alle 5 Jahre zu. Die Lebenszeiten von Heizungsanlagen liegen nach Recknagel. Sprenger (1979, Tafel 266-15) überwiegend im Zeitraum von 10 bis 20 Jahren. Daher werden wir für z_L nur 10, 15 und 20 Jahre zulassen (falls Isolation allein betrachtet wird, ist auch $z_L = +\infty$ zulassen. Fallen die Betriebskosten Q_{alt} wegen fallender Brennstoffpreise, so ist in (4.25) $-Q_{alt}$ zu ersetzen durch

$$(4.26) \quad E(z_2) = \max_{\substack{z = z_2 + 5 \\ z_2 + 10, z_2 + 15 \\ z \leq 20}} \left(-Q_{alt}(z_2) - \sum_{i=z_2+1}^z \{gG(t) p(z_2+i) + f(i)\} (1+r)^{-i} \right)$$

Hierbei sei z_2 der gerade vorliegende Zeitpunkt. Zusammengefaßt: Die Anlage wird als optimal angesehen, die eine minimale Kostenannuität bezüglich einer 5, 10, 15 oder 20jährigen Periode hat. Dies kann die bereits vorhandene Anlage sein, eine neue Anlage mit dem gleichen Energieträger oder eine neue Anlage mit einem anderen Energieträger.

Üblicherweise wird jedoch nicht das gesamte Heizungssystem ausgetauscht, sondern nur einzelne Elemente, etwa der Brenner; oder das System wird durch Einbau von Regulierungssystemen beziehungsweise durch Isolation des Hauses in seiner Wirkungsweise stark verändert. Das neue System läßt sich ebenfalls von der Idee her, daß das Investitionsprojekt durch identische Investitionsprojekte ersetzt wird, kalkulieren. Dann kann man annehmen, daß das neue Element verbleiben kann, wenn die alte Anlage ersetzt wird, d.h. die beiden Komponenten können unterschiedliche optimale Lebenszeiten haben. Die minimale Kostenannuität ergibt sich so als Summe der minimalen Kostenannuitäten beider Komponenten.

Im Modell wird angenommen werden, daß die Parameter g_k'' der verschiedenen Heizungssysteme sowie die fixen Betriebskostenverläufe $f_k(.)$ zugänglich sind. Bleibt die Frage der Festlegung der Investitionskosten I , der Brennstoffkostenentwicklungen $p(.)$ und des Zinsfußes r . Für die einzelnen Systeme nehmen wir an, daß die jeweiligen Investitionskosten I , die jetzt auch bauliche Nebenkosten, also Umrüstkosten, einschließen müssen, aus dem letzten Investitionsjahr, d.h. fünf Jahre zurück, sowie die direkte Subvention der Maßnahme bekannt sind. Beim Übergang von Klasse k zur Klasse k' wird dann so vorgegangen, daß die neue Anlage mit einer nur anlagenspezifischen Lebenszeit gerechnet wird, während z.B. der Kaminumbau mit unbeschränkter Lebenszeit angesetzt wird.

Zu jedem Investitionszeitpunkt liegen für alle Energieträger die Preise der letzten 5 Jahre vor. Für einen Energieträger seien dies etwa $p(1), \dots, p(5)$. Aus den 4 Preisrelationen

$$p(1)/p(2), p(2)/p(3), p(3)/p(4), p(4)/p(5)$$

soll die Preisentwicklung der folgenden Jahre abgeschätzt werden. Für eine reelle Zahl $g \neq 1$ sollen die Verhältnisse von jeweils Preis zu Preis im Vorjahr gewichtet addiert werden, wobei der Reihe nach jeder Relation das Gewicht $\frac{g-1}{g^4-1} g^i$

($i = 0, 1, 2, 3$) zugeteilt wird. Dieses Verhältnis wird dann auf einen festen Zeitraum von 5 bis 10 Jahren angewandt, anschließend werden die Preise, die nur für die Kalkulation der Kostenannuitäten benötigt werden, als fest angesetzt.

Noch festzulegen ist der Zinsfuß r . Geht man in einem betrachteten Zeitraum von konstanten Kapitalflüssen aus, so ist eine kurze Amortisationszeit, deren Länge auch zur Beurteilung einer Investition benutzt wird, synonym mit positivem Kapitalwert bei hohem Zinsfuß r . Wir werden daher im folgenden die Amortisationszeit nicht als zusätzliches Kriterium verwenden, sondern für jede Haushaltsklasse k einen kalkulatorischen Zinsfuß r_k verwenden. Jerry A. Hausmann (1979) fand in einer, allerdings kleinen, Stichprobe, daß die Investitionsentscheidungen so ge-

troffen werden, als ob die Haushalte einkommensabhängige Zinsfüße verwenden würden. In der angegebenen Tafel 8 steigt der Zinsfuß von einem Wert, der dem Zinsfuß des Kreditmarktes ähnelt, an auf einen Zinsfuß von über 0,4 oder 40 % in Abhängigkeit des fallenden Einkommens. Analog wird man auch hier vorgehen müssen, wobei sich z.B. noch die Haushaltsgröße einbeziehen läßt.

Könnte man davon ausgehen, daß die Haushalte die nötige Information haben und in der dargestellten Weise sich rein ökonomisch verhalten, so würde die Entscheidung anhand von Formel (4.25) bei Berücksichtigung von (4.26) zu fällen sein, d.h. die Haushalte würden sich primär an den Kostenannuitäten orientieren. Ein solches Vorgehen in ein Modell aufzunehmen, ist nur bedingt empfehlenswert. Zunächst rechnet man üblicherweise nur mit den mittleren Preisen der Anlagen nach Abzug der Subvention, so daß das Modell eine zu hohe Anzahl von Haushalten angäbe, die eine investive Maßnahme ausführen. Darüber hinaus würde der Mangel an Wissen über die Existenz einer solchen Maßnahme beziehungsweise über ihre Konsequenzen nicht abgebildet. Und schließlich würden andere Aspekte wie Bedienungskomfort, Unfallsicherheit, Versorgungssicherheit und sonstige nicht berücksichtigt.

Die folgende Vorgehensweise schließt die soeben genannten Gesichtspunkte ein. Es wird eine Nutzenfunktion definiert, die auf Kosten, Regulierungsbequemlichkeit, Behaglichkeit, Informiertheit und anderen Aspekten aufbaut, und deren Koeffizienten von der jeweiligen Klasse der Haushalte abhängt. Die Nutzenfunktion bewertet die investiven Maßnahmen für jeden Haushalt. Zu jedem Funktionswert wird ein stochastischer Term hinzugezählt, der auf nichtberücksichtigten Effekten beruht. Der Haushalt wählt die investive Maßnahme mit dem höchsten - stochastisch beeinflussten - Wert.

Nach Definition sind durch die Zugehörigkeit zu einer Klasse $k \in \mathcal{K}$ die in diesem Zusammenhang relevanten Daten wie

Energieträger, Alter der Anlage, Hauscharakteristika, Alter des Haushaltvorstandes, Haushaltsgröße usw. festgelegt. Allein wegen der Alterung um 5 Jahre erfolgt ein Wechsel der Klasse. Auch der Fall, daß der Haushalt als Eigentümer und Bewohner eines Ein- oder Zweifamilienhauses ausscheidet, muß einbezogen werden. Bezeichne $\mathcal{N}(k, z)$ die Menge aller möglichen Klassen, in welche der Haushalte k formal beim Jahreswechsel vom Jahr $z-1$ ins Jahr z übergehen kann. Wie soeben festgestellt, kann $\mathcal{N}(k, z)$ leer sein. Dies kann auch einfach deswegen gefordert sein, weil die denkbaren Nachfolgekassen einen zu geringen Umfang hätten. Demgegenüber muß im Modell das erstmalige Auftreten von Haushalten als Eigentümer von Ein- und Zweifamilienhäusern vorgesehen sein. Beim Übergang von k nach $k' \in \mathcal{N}(k, z)$ lassen wir zu, daß der Informiertheitsgrad des Haushalts zunimmt. Diese Möglichkeit muß aber dann exogen vorgegeben werden, eventuell als zufälliges Ereignis mit exogen einzugebender Wahrscheinlichkeitsverteilung. Eine weitere, hier nicht ausgeführte Möglichkeit bestünde darin, Informationspolitiken der öffentlichen Hand vorzusehen.

Für $k' \in \mathcal{N}(k, z)$ im Jahre z sei der Nutzen gegeben durch

$$(4.27) \quad u_{kk'} = \lambda_{kk'} \left\{ A_{kk'1} + A_{kk'2} + \dots + A_{kk'n_{kk'}} \right\} + \sum_{i=1}^{m_{kk'}} q_{ki} x_i + \omega_{kk'}$$

mit $\omega_{k,k'}$ stochastischer Term,

$A_{kk',j}$ = minimale Kostenannuität, falls die Komponente j neu ist

$$= \min_{z_j=5,10} \frac{r_k (1 + r_k)^{z_j}}{(1 + r_k)^{z_j} - 1} L_j(z, z_j)$$

$L_j(z, z_j)$ definiert in (4.22), die verwendete Temperatur t ist die optimale im Jahre $z-1$.

Für die Bewertung des alten Systems ($j = 1$) ist einzusetzen

$$A_{kk',1} = E_k(z), \text{ definiert in (4.26)}$$

$\lambda_{kk'} < 0$ ist umso kleiner, je weniger bekannt das neue System ist bzw. $|\lambda_{kk'}|$ umso größer

x_i ($i = 1, \dots, m_{kk'} - 1$) seien empirisch meßbare Größen wie z.B. eine Stunde Reinigung pro Tag

a_{ki} Produkt aus Vielfachheit von x_i mit der Bedeutung, die x_i von den Haushalten der Klasse k zugemessen wird

$$x_m = 1$$

$a_{km_{kk'}}$ unspezifizierte Einschätzung des Systems, das festgelegt ist durch k' , bezüglich Versorgungssicherheit

Die Wahrscheinlichkeit des Übergangs von k nach $k' \in \mathcal{N}(k, z)$ wird im folgenden durch einen logit-Nutzendifferenz-Ansatz und einen probit-Ansatz beschrieben (vgl. J.A. Hausman (1979), T.H. Oum (1979)). Die Übergangswahrscheinlichkeit wird angesetzt als der Anteil der Haushalte aus der Klasse k , der übergeht in die Klasse k' . Insoweit liegt formal ein Modell ohne stochastische Effekte vor.

logit-Nutzendifferenz-Ansatz

Sei $m \in \mathcal{N}(k, z)$ beliebig gewählt. Bezeichne P_k die Wahrscheinlichkeit, daß ein Haushalt aus k in die Klasse k' übergeht. Dann gilt

$$(4.28) \quad \log \frac{P_{k'}}{P_m} = \lambda_{kk'} \left\{ A_{kk',1} + \dots \right\} + \sum_{i=1}^{m_{kk'}} a_{ki} x_i \\ - \lambda_{km} \left\{ A_{km,1} + \dots \right\} - \sum_{i=1}^{m_{km}} a_{ki} x_i$$

mit $k' \in \mathcal{N}(k, z) \setminus \{m\}$

Hieraus resultiert

$$(4.29) \quad P_{k'} = \frac{\exp(\lambda_{kk'} \{A_{kk'1} + \dots\} + \sum_{i=1}^{m_{kk'}} a_{ki} x_i)}{\sum_{k' \in \mathcal{N}(k,z)} \exp(\lambda_{kk'} \{A_{kk'1} + \dots\} + \sum_{i=1}^{m_{kk'}} a_{ki} x_i)}$$

Nachteil der Methode ist, daß Unabhängigkeit von irrelevanten Alternativen angenommen wird. Schwierigkeiten treten auf, wenn Substitutionselastizitäten hergeleitet werden sollen.

Flexibler ist der probit-Ansatz, der jedoch den Nachteil größerer Rechenarbeit hat.

probit-Ansatz

Die Zufallsgrößen $\omega_{kk'}$ haben eine Normalverteilung.

$1 \in \mathcal{N}(k,z)$ wird gewählt, wenn $u_{k1} = \max_{k' \in \mathcal{N}(k,z)} u_{kk'}$

Das Problem, die Wahrscheinlichkeit P_1 des Übergangs zu 1 zu berechnen, ist dargestellt von J.A. Hausman (1979).

Die Entscheidung zwischen den beiden Übergangsmodellen muß anhand von Feldstudien ausgeführt werden. Es sei noch einmal betont, daß beim Übergang von der Annahme ausgegangen wird, daß die Temperaturverteilung des Vorjahres beibehalten wird.

Noch nachzutragen ist die Preisgestaltung der Anlagen für die nächste Investitionsperiode. In (4.3) ist der Preis ohne Subvention $q_m + h_{mz} = g_m(y_m)$ eine monoton fallende Kurve in der Nachfrage y_m . Nach Berechnung der Anzahl der Haushalte, die von einem System in das andere übergehen beziehungsweise neu auftreten, ist y_m bekannt und somit $q_m + h_{mz}$ leicht zu berechnen. Im neuen Investitionszeitpunkt $z + 5$ sind dann zur Berechnung der Annuitäten die Investitionskosten $q_m + h_{mz} - h_{m,z+5}$ anzusetzen.

5. Bewertung der Strategien der öffentlichen Hand unter Berücksichtigung von Versorgungssicherheit

Die Notwendigkeit der Einsparung von Energie läßt sich u.a. folgendermaßen begründen:

- Der Import von größeren Mengen an Energie verschiebt die Handelsbilanz negativ, fördert somit die Abwertung der eigenen Währung. Dies ergibt schließlich einen Einkommensverlust der Bevölkerung.
- Ein starker Verbrauch einheimischer Energien erschöpft schneller die Rohstofflager. Es muß früher und teurer aus ungünstigeren Lagen gefördert werden. Dies führt zur Reduzierung des Verbrauchs nichtenergetischer Güter.
- Importierte Energien sind stärker störanfällig, was die Möglichkeit von Unbehaglichkeit wegen fehlender Raumwärme erhöht.

Eine Strategie, die zu weniger Verbrauch von Energie ohne Unbehaglichkeit und ohne hohe Investitionskosten führt, wird als erfolgreich gelten müssen. Eine Strategie sieht für einen Zeitraum von 50 Jahren Steuern $(s_{lz})_{l=1,2,3,4; z=1,2,\dots,50}$ jeweils je Einheit des Energieträgers l im Jahre z , von 1980 an gerechnet, vor sowie Subventionen $(h_{m,z})_{m \in M, z=5,10,20,\dots}$ für eine Anlage des Typs m im Jahre z . Die Ungleichung (4.5) muß gelten.

Für den Zeitraum nach den 50 Jahren des Modells wird angenommen, daß die Klassengrößen aus \mathcal{K} konstant bleiben, etwa dadurch, daß Haushalte das System verlassen oder auffüllen, indem hypothetisch leere Häuser bezogen werden und andere vorzeitig verlassen werden. Ein Heizungssystem soll nur noch durch eins des gleichen Typs ersetzt werden. Steuern und Subventionen treten nicht mehr auf. Damit wird nach $z = 50$ ein stationärer Zustand eingerichtet, der wenigstens partiell die Zeit nach $z = 50$ zu bewerten gestattet.

Das Ziel der Energieeinsparung werde über die Aufgabe, minimale Werte für den gewichteten, diskontierten Energieverbrauch (vgl. 4.12)

$$(5.1) \quad Z_1 = \sum_{l=1}^L \gamma_l \sum_{z=1}^{\infty} R^z \sum_{k \in \mathcal{K}} B'_k(t_{kz}) m_{kz}$$

zu erreichen, dargestellt, wobei $0 < R < 1$ ein Diskontierungsfaktor ist, der ein Maß der Gewichtung zukünftiger Nutzeneinheiten mit jetzigen ausdrückt; t_{kz} sei die gewählte innere Temperatur bei Haushalten der Klasse k zum Zeitpunkt t (vgl. 4.16). $0 \leq \gamma_l \leq 1$ mit $\sum_{l=1}^L \gamma_l = 1$ gibt die Gewichtung der Energieträger untereinander an, wobei γ_1 um so größer ist, je größer der Importanteil ist. m_{kz} ist die Menge der Haushalte in k zum Zeitpunkt z .

Nach Einrichtung eines stationären Zustandes ist

$t_{k50} = t_{k51} = \dots$ und somit

$$(5.2) \quad Z_1 = \sum_{l=1}^L \gamma_l \sum_{\substack{k \in \mathcal{K} \\ k \text{ mit } l}} \left(\sum_{z=1}^{49} m_{kz} R^z B'_k(t_{kz}) + \frac{m_{k50} R^{50}}{1-R} B'_k(t_{k50}) \right)$$

Die Haushalte sollen nicht zu sehr belastet werden. Dies werde durch Minimierung der folgenden Zielfunktion Z_2 erreicht, welche die gewichteten diskontierten Ausgaben für Heizzwecke aufaddiert. Bezeichne $Q_{mk}(z)$ die Anzahl der investiven Maßnahmen vom Typ $m \in M$, die beim Übergang vom Jahr $z-1$ in das Jahr z von Haushalten der Klasse k ausgeführt werden, $q_m(z) = q_{mz} + h_{mz-5} - h_{mz}$ den hierbei verlangten Preis mit $q_{mz} = g_m(Q_{mk}(z-5)) - h_{m,z-5}$ nach (4.3), so ergibt sich

$$(5.3) \quad Z_2 = \sum_{k \in \mathcal{K}} \frac{1}{e_k} \left\{ \sum_{z=1}^{\infty} R^z m_{kz} c_k(t_{kz}) + \sum_{z=5,10,\dots}^{\infty} R^z Q_{mk}(z) q_m(z) \right\}$$

(vgl. (4.13) und (4.14)). Z_2 läßt sich zusammenfassen zu

$$(5.4) \quad Z_2 = \sum_{k \in K} \frac{1}{e_k} \left\{ \sum_{z=1}^{49} R^z m_{kz} c_k(t_{kz}) + \frac{R^{50}}{1-R} m_{k50} c_k(t_{k50}) + \sum_{z=5,10,\dots}^{\infty} R^z Q_{mk}(z) q_m(z) \right\}$$

Die zweite innere Summe kann ebenfalls vereinfacht werden, jedoch muß je nach den Lebenszeiten der Komponenten verschieden summiert werden.

Statt Z_2 kann auch die Minimierung der Anzahl der Haushalte angestrebt werden, deren Gesamtausgaben für Heizung über einem vorzugebenden Anteil des Einkommens liegt.

Weiter soll auch das Unbehagen wegen zu geringer Temperaturen minimiert werden. Für jede Klasse k bezeichne t_k eine Temperatur so, daß das Unbehagen bei Temperatur t proportional zu $(t_k - t)^2$ angesetzt werden kann. Über das Jahr ergibt sich als Maß des Unbehagens

$$(5.5) \quad D_k(t) := \int_0^{365d} [\min(0, t_k - \max(t, t_a(z)))]^2 dz$$

mit der nach (4.7) festgelegten Außentemperatur $t_a(\cdot)$, wobei $t_{\min} \leq t \leq t_k \leq t_{\max}$ gelte. Eine einfache Rechnung ergibt

$$D_k(t) = \frac{365d}{t_{\max} - t_{\min}} (t_k - t)^2 \left(\frac{t_k}{3} - t_{\min} + \frac{3}{2}t \right)$$

D_k ist ein im Intervall t_{\min}, t_k monoton in t fallendes Polynom dritten Grades mit $D_k(t_k) = 0$. Mittels Aufsummierung erhält man als dritte zu minimierende Zielfunktion

(5.6)

$$Z_3 = \sum_{k \in K} \left(\sum_{z=1}^{49} m_{kz} R^z D_k(t_{kz}) + m_{k50} \frac{R^{50}}{1-R} D_k(t_{k50}) \right)$$

wobei t_{kz} die von den Haushalten in k zum Zeitpunkt z gewählte mittlere Temperatur (vgl. 4.16) ist.

Als weitere, zu maximierende, Zielfunktion könnte man noch eine gewichtete Summe der Bedienungsbequemlichkeit einführen, was wir im folgenden nicht ausführen wollen. Es liegt damit das folgende Optimierungsproblem mit mehrfacher Zielsetzung vor:

$$\begin{aligned} & \min (Z_1, Z_2, Z_3) \\ (5.7) \quad & \text{bzgl. aller Strategien: } (s_{1z})_{1=1,2,3,4; z=1,2,\dots,50} \\ & (h_{mz})_{m \in M, z=5,10,20,\dots,50} \\ & \text{mit Bedingung (4.5)} \end{aligned}$$

Da sich die Zielsetzungen wenigstens partiell widersprechen, ist das Problem nur nach Angabe von Lösungskonzepten vollständig formuliert. Wir werden eine Reihe von Lösungskonzepten angeben. Ohne numerische Erfahrungen wird man keine Auswahl treffen. Für einen breiteren Hintergrund sei auf R. Keeney, H. Raiffa (1976) und C. Hwang, A. Masud (1979) verwiesen.

- 1) Zurückführung auf ein einfaches Minimierungsproblem durch Einführung von Restriktionen:

Für je zwei der Zielfunktionen werden obere Schranken verlangt, z.B. $Z_1 \leq z_1, Z_2 \leq z_2$ mit $z_1, z_2 \in \mathbb{R}$.

Eine Strategie gilt als optimal, wenn sie unter diesen zusätzlichen Restriktionen Z_3 minimiert.

- 2) Gewichtung der Zielfunktionen:

Es werden drei positive Zahlen g_1, g_2, g_3 gewählt und anschließend $g_1 Z_1 + g_2 Z_2 + g_3 Z_3$ minimiert.

- 3) Minimierung des Abstandes zum utopischen Punkt:

Es werden der Reihe nach die minimalen erreichbaren Werte $\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \underline{Z}_3$ der Zielfunktionen berechnet, wobei die beiden anderen Zielfunktionen nicht beachtet werden. Anschließend wird etwa der quadratische Abstand minimiert:

$$\min (Z_1 - \underline{Z}_1)^2 + (Z_2 - \underline{Z}_2)^2 + (Z_3 - \underline{Z}_3)^2$$

- 4) Durch Vorgabe von Selektionshäufigkeiten, entsprechend dem erweiterten mehrgliedrigen Evolutionsverfahren, läßt sich eine Pareto-optimale oder effiziente Lösung finden.

Das bis jetzt beschriebene Modell sieht nur stochastische Einflüsse auf Seiten der Verbraucher vor. Von der Angebotsseite, d.h. bezüglich der Energieträger und der Heizungsanlagen wird angenommen, daß die Parameter der Preis-Angebotskurven bekannt sind. Das Ziel: "Sicherung gegen kurzfristige Schwankungen" läßt sich aber erst dann in einem Modell behandeln, wenn Unsicherheiten bezüglich dieser Kurven im Modell vorgesehen sind. Wir werden im folgenden annehmen, daß die öffentliche Hand Wahrscheinlichkeiten für Preissprünge der importierten Energieträger wegen Reduktion der Liefermengen kennt.

Zur Vereinfachung werden diese Unsicherheiten oder spezieller ein Risiko nur für einen Energieträger zugelassen. Die Verallgemeinerung auf mehrere bereitet keine grundsätzlichen Schwierigkeiten. Nach (4.1) besteht für den l-ten Energieträger die Preisangebotskurve

$$p_l = f_l(x_l, s_{lz}, a_{lz})$$

mit zeitabhängigen Parametern a_{lz} . Unsicherheiten führen zu Veränderungen der Parameter a_{lz} . Wir nehmen im folgenden an, daß der Parameter a_{3lz} der Kurve (4.2)

$$p_l = a_{1lz} x^{a_{2lz}} + a_{3lz} s_{lz}$$

im Falle einer Preiskrise verändert wird.

Wir nehmen an, daß wir jeweils für das vierte Jahr einer 5-Jahres-Periode die Möglichkeit einer Preiskrise haben. Dann erhöhe sich a_{3lz} um Δa auf $a_{3lz} + \Delta a$. $\Delta a > 0$ wird vorgegeben. Mit den Wahrscheinlichkeiten p'_i ($i = 1, \dots, 10$) trete der Preissprung im Jahre $5(i-1)+4$ einmal innerhalb der 50 Jahre auf. Mit den Wahrscheinlichkeiten p_{10+i} ($i = 1, \dots, 5$) tritt je ein Preissprung zu den Zeitpunkten $5(i-1)+4$ und $5(4+i)+4$ und den

mit Wahrscheinlichkeit p'_{16} trete dies in jeder 3. Periode nach 50 Jahren, d.h. in den Jahren 54, 69, ..., $54+15i$, ... auf. Mit Wahrscheinlichkeit $1-p'_{16}$ tritt also kein Preissprung nach 50 Jahren auf. Es sei angenommen, daß die Strategie $(s_{1z}, h_{mz})_{1mz}$ nicht von der Beobachtung einer Preiskrise abhängt. Anpassung der Strategie der öffentlichen Hand ist somit in dieser Stufe des Modells ausgeschlossen. Die Einbeziehung von Anpassung bereitet formal wenig Schwierigkeiten, aber einen um ein Vielfaches größeren Rechenaufwand und wird daher zweckmäßigerweise erst nach Vorlage von numerischen Resultaten des Systems ohne Anpassung erfolgen.

Sei $P = (p'_1, \dots, p'_{16})$ der Vektor der Wahrscheinlichkeiten für Preiskrisen. Das deterministische Problem (5.7) ist jetzt durch ein stochastisches zu ersetzen. Als Zielfunktionswerte seien jetzt die Erwartungswerte $E_P Z_i$ ($i=1,2,3$) bezüglich des Wahrscheinlichkeitsvektors P betrachtet.

$$\begin{aligned}
 & \min (E_P Z_1, E_P Z_2, E_P Z_3) \\
 (5.8) \quad & \text{bzgl. aller Strategien } (s_{1z})_{1=1,2,3,4; z=1,2,\dots,50} \\
 & (h_{mz})_{m \in M, z=5,10,\dots,50} \\
 & \text{Bedingung (4.5)}
 \end{aligned}$$

Durch Übergang zu einem stochastischen Modell mit Erwartungswerten ändert sich nichts an den Lösungskonzepten.

Definition: Eine Strategie (s_{1z}, h_{mz}) hat einen Versorgungssicherheitsindex σ bezüglich P , falls gilt

$$\min \left(\frac{E_P Z_2}{Z_2}, \frac{E_P Z_3}{Z_3} \right) \leq \frac{1}{\sigma}$$

wobei Z_2 und Z_3 die Zielfunktionswerte im Falle des Nichtauftretens einer Preiskrise sind.

Das Problem einer sicheren Versorgung läuft dann darauf hinaus, eine die Erwartungswerte $E_P Z_i$ beschränkende und den Versorgungssicherheitsindex σ vergrößernde Strategie zu bestimmen.

6. Daten für ein vereinfachtes Nachfragemodell

Der Vergleich des in den beiden vorangehenden Kapiteln dargestellten Modells und der im zweiten und dritten Kapitel besprochenen Umfragen zeigt, daß die für ein solches Modell notwendigen Daten nicht unmittelbar aus den Veröffentlichungen zu entnehmen sind. Hierbei sind die soziologischen Bestimmungsgrößen schwerer zugänglich als die bau- und heizungstechnischen Daten. Es erscheint daher sinnvoll, ein vereinfachtes Modell zu entwickeln, um über Modellläufe die besonders sensitiven Parameter zu ermitteln und den Aufwand für das allgemeine Modell abzuschätzen.

Der Inhalt dieses Kapitels besteht im wesentlichen in der konkreten Angabe der Klassenmenge \mathcal{K} und der Angabe der Quellen zur Ermittlung fehlender Daten.

Statt der wünschenswerten Aufgliederung in Klassen und Berücksichtigung sozioökonomischer Unterschiede, gehen wir hier von Haustypen unterschiedlichen Alters, Größe, Ausstattung und den verschiedenen eingebauten Heizungssystemen aus. Dies läßt sich bis zu einem gewissen Grad rechtfertigen aus den Korrelationen etwa zwischen Haushaltsgröße und Wohnhausgröße, Einkommensgröße und Wert beziehungsweise Ausstattung des bewohnten Hauses (vgl. etwa B. Bartholomai (1980)). Jede Klasse wird gekennzeichnet durch einen Vektor $k = (k_1, \dots, k_6)$ mit 6 Komponenten. k_1 gibt den Haustyp und die Quadratmeterzahl an. k_1 durchlaufe die Zahlen 1 bis 6, womit der Reihe nach die folgenden Haustypen bezeichnet seien (in qm Wohnfläche):

Einfamilienhäuser: 90-120 qm, 121-150 qm, 151-180 qm

Zweifamilienhäuser: 180-220 qm, 221-260 qm, 261-300 qm.

$k_2 \in \{1, 2, 3\}$ legt die Kosten je qm fest für Ein- und Zweifamilienhäuser. 1, 2, 3 bestimmen der Reihe nach hohe, mittlere und niedrige qm-Kosten für jeweils Ein- und Zweifamilienhäuser.

$k_3 \in \{1, 2, 3, 4\}$ gibt Bereiche von k-Werten oder Wärmedurchgangskoeffizienten an. Diese sind als mittlere Werte über die

gesamte Hausfläche zu verstehen. Die Bereiche sind der Reihe nach (in $\text{W/m}^2\text{K}$): 0,8-1; 1,01-1,2; 1,21-1,4; 1,41-1,6.

Das Alter der Häuser sei in 9 Punkten angegeben $k_4 \in \{1, \dots, 9\}$ mit der Aussage: Das Haus mit der Angabe k_4 hat ein Alter $\leq 5 \cdot k_4$ Jahre und $> 5(k_4 - 1)$ Jahre. Häuser mit größerem Alter werden nicht betrachtet beziehungsweise scheiden aus dem System aus.

7 Anlagentypen werden betrachtet: $k_5 \in \{1, \dots, 7\}$, welche der Reihe nach von 1 bis 7 durchnummeriert werden.:

Einzelöfen: feste Brennstoffe, Öl, Gas, Strom
Zentralheizung: feste Brennstoffe, Öl, Gas.

Hierbei wird davon ausgegangen, daß die Heizungsanlagen den maximalen Wirkungsgrad haben, d.h. die Heizungsanlage ist auf die Größe des Hauses und den Wärmedurchgangskoeffizienten hin so ausgelegt, daß auch bei niedrigster Außentemperatur eine Norm-Innentemperatur für Wohnräume zu erreichen ist (vgl. DIN 4701 - E 3.78).

Vier Altersperioden für Anlagen werden zugelassen, wobei $k_6 \in \{1, 2, 3, 4\}$ angibt, daß die Anlage ein Alter von $> (k_6 - 1)5$ und $\leq k_6 \cdot 5$ Jahren hat.

Bereits bei diesem ungeheuer vereinfachten Modell ist die Anzahl der Klassen $|\mathcal{K}| = 18144$. Die Außenfläche A_k wird hier nach der Formel $1/2$ Grundfläche + $1/2$ Deckenfläche + Außenfläche = A_k berechnet, wobei die Grundfläche und die Deckenfläche durch k_1 festgelegt ist. Die Außenfläche wird angesetzt als $\sqrt{\text{Grundfläche}} \cdot 2,50$ m. Mit k_3 ist damit der Jahresbedarf $Q_k(t)$ eines Hauses aus der Klasse k für die Heizinnentemperatur t nach (4.10) festgelegt. Für die festen Betriebskosten einer Anlage, gegeben durch k_5 , k_1 und k_3 werden die Koeffizienten von (4.21) $f_k(z) = \exp(\alpha_k + \beta_k z)$ so festgelegt, daß sich bei beobachteten Investitionspreisen die in Recknagel-Sprenger angegebenen Lebenszeiten einstellen.

Gewöhnlich sind die älteren Häuser schlechter isoliert und enthalten häufiger Einzelöfen als neuere Häuser. Bei Übergang zu anderen k-Werten beziehungsweise Zentralheizungen fallen bauliche Veränderungen an. Für die Anbringung zusätzlicher Dämmstoffe werden wir die Lebenszeit unendlich und die Betriebskosten Null ansetzen, ebenso für die Umbauten, wie z.B. Umbau des Kamins. Preise für die Umbauten und Anlagen finden sich z.B. in D. Orth (1979). Wartungskosten sind angegeben in "test", März 1981, Dämmungskosten in "test", August 1980. Ausgangswerte für die Zinsfaktoren der einzelnen Klassen lassen sich aus der Spiegeldokumentation (1981) und J.A. Hausman (1979) erschließen.

Für die einzelnen Anlagen sei hier nur ein Bequemlichkeitsparameter gegeben, der sich an die Resultate der STE-Umfrage, Kapitel 3, anlehnt. Grob vereinfacht gehen Kosten und Bequemlichkeit mit Potenz drei beziehungsweise eins in der Isonutzenkurve ein. Man könnte somit als ersten Ansatz zu den Kosten in einem geeigneten Maßstab die dritten Wurzeln der dort angegebenen Bequemlichkeitindizes aufnehmen. In der angegebenen Reihenfolge $k_5 = 1, \dots, 7$ würden dies die Werte 1,03; 1,4; 1,7; 2; 1,5; 1,9; 2,1. sein. Eine richtigere Vorgehensweise wäre die Schätzung (etwa mit Maximum-Likelihood) von Formel (4.29), was hier wegen des geringen Stichprobenumfangs als nicht gerechtfertigt erscheint.

Daten zu den Wirkungsgraden der Anlagen sind z.B. enthalten in VDI 2067. Daten zu den Anlagen sowie Brennstoffmengen und Preisen lassen sich neben anderen Quellen auch aus den Veröffentlichungen der HEA, der Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung e.V., Frankfurt, gewinnen, die auch Umrüstkosten von Heizungssystemen enthalten.

Es sei noch angegeben, daß gegenwärtig 4,6 Millionen Einfamilienhäuser, 2,4 Millionen Zweifamilienhäuser und 0,72 Millionen sonstige Mehrfamilienhäuser existieren. Im Jahre 1975 war die

Aufteilung bezüglich Heizungsanlagen in Prozentzahlen:

	feste Brennst.	Öl	Gas	Strom
Einzelofen	0	0,4	0,7	unter 0,1
Zentralheizung	0,2	54,9	27,7	3,4

Als obere Grenze für den Diskontierungsfaktor R sei $(1 + r)^{-1}$ gesetzt, wobei r der Leihzinsfuß abzüglich der Inflationsrate sei. Dieses vereinfachte System läßt sich dazu verwenden, die Marktentwicklung eines neuen Systems, etwa der Gasabsorptionswärmepumpe, zu untersuchen, indem man z.B. aus dem Modell eine Einzelofenheizungsart wegläßt.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte Modell ist auf die Fragestellung zugeschnitten, durch welche Subventions- bzw. Steuerpolitik die öffentliche Hand Einsparungen ohne Komfortverlust von Raumwärmeenergie in Ein- und Zweifamilienhäusern unterstützen kann. Die Bestimmungsgrößen, insbesondere ihre Bedeutung, für investive Maßnahmen wurden mit einer kleinen Umfrage zu ermitteln versucht. Neben Kosten ist Bequemlichkeit ein ausschlaggebender Grund für die Auswahl des Heizungssystems, während Versorgungssicherheit geringere Bedeutung zu haben scheint. Das Modell bezieht in der Formulierung die aus der Konsumentenforschung als wichtig bekannten sozioökonomischen Parameter der Haushalte ein. Die Ausgewichtung der Kosten und der mittleren Heiztemperatur wurden formuliert. Der Investitionsteil berücksichtigt wirtschaftliche Gründe durch Vergleich von Betriebskosten mit zu erwartender minimaler Kostenannuität und Faktoren wie Bequemlichkeit, die in einem logit-Ansatz verarbeitet werden. Die Preise der Energieträger und der Anlagen werden festgelegt durch Preis-Angebotskurven. Im Rahmen von stochastischen Störungen der Preis-Angebotskurven der Energieträger wird Versorgungssicherheit mitbehandelt. Mögliche Ziele der öffentlichen Hand werden über drei Zielfunktionen konkretisiert, die Verbrauch an Energieträgern, Ausgaben der Haushalte für Heizzwecke und Unbehaglichkeit wegen niedriger Temperaturen bewerten.

An einem vereinfachten Modell wird noch die Datenproblematik veranschaulicht. Der Wert eines solchen Modells liegt einerseits darin, daß die auftretenden Phänomene direkt sichtbar sind. Insbesondere läßt sich zeigen, wo eine zusätzliche Informationspolitik der öffentlichen Hand ansetzen kann. Andererseits läßt sich erhoffen, daß über die mikroökonomische Analyse hinaus die geeignete makroökonomische Approximation, z.B. unter Verwendung von neoklassischen Produktionsfunktionen

und passender Definition von Kapitalstocks, dieser Bereich ädaquat in ein höher aggregiertes makroökonomisches Modell eingegliedert werden kann. Fragen der Marktanteile neuer Technologien lassen sich diskutieren und mit rein phänomenologischen Modellen vergleichen. Lohnenswert erscheint auch eine Einbeziehung der Ausgaben für Heizzwecke in eine Theorie aller Haushaltsausgaben, wobei Ersparnisbildung und Vermögen zu betrachten wären.

Literatur

- A.E. Amstutz: Computer Simulation of Competitive Market Response. The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, and London (1967)
- B. Bartholmai: Analyse und Prognose der Wohnungsnachfrage in der Bundesrepublik Deutschland. Beiträge zur Strukturforchung, Heft 58, 1980, Berlin
- H. Danskin: Behavioural Constraints on the Implementation of Conservation Measures in the UK, Using the SARU EDP Model. In W. Häfele, L.K. Kirchmayer: Modeling of Large-Scale Energy Systems, s. 53 - 60, Pergamon Press, Oxford, New York, Toronto, Sydney, Paris, Frankfurt (1980)
- D.E. Freitag: Methodische Probleme bei der Realisation eines Einstellungsmodells. Jahrbuch der Absatz- und Verbraucherforschung, Nr. 2, (1973)
- J.A. Hausman: The Individual Discount Rates and the Purchase and Utilization of Energy-Using Durables. The Bell Journal of Economics, Vol. 10 (1979)
- Chiang-Lai Hwang,
Abu Syed Md.Masud: Multiple Objective Decision Making-Methods and Applications. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1979)
- R.L. Keeney,
H. Raiffa: Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto (1976)
- W. Kroeber-Riel: Konsumentenverhalten. Verlag Franz Vahlen, München (1980)

- G. Lüttringhaus: Einflußfaktoren bei der Wahl von Heizungssystemen, Brennst.-Wärme-Kraft 27 (1975)
- D. Orth: Niedertemperatur-Wärmeversorgung unter besonderer Berücksichtigung neuer Technologien, Jül-Spez-65, Jülich (1979)
- T.A. Oum: A warning on the use of linear logit models in transport mode choice studies. The Bell Journal of Economics, Vol. 10 (1979)
- J.F. Pickering: The Acquisition of Consumer Durables. A cross-sectional investigation. Associated Business Programmes, London (1977)
- Recknagel-Sprenger: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. R. Oldenbourg, München, Wien (1979)
- E.M. Ruczinski, K. Suthoff: Die Bedeutung des Modell-Denkens für die Werbung. Verlagsgruppe, Bauer, Hamburg, München, Köln
- A. Scott: The economics of house heating. Energy Economics pp 130 - 141 (1980)
- Socialdata, VDI, VDE, FfE, IfE: Einfluß des Verbraucherverhaltens auf den Energiebedarf privater Haushalte; Vorträge der Tagung in München am 16. Oktober 1981. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1982)
- Spiegel-Dokumentation: Energie-Bewußtsein und Energie-Einsparung bei privaten Hausbesitzern und Wohnungseigentümern. Spiegel-Verlag, Hamburg (1981)
- P. Swoboda: Investition und Finanzierung. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen (1971)
- test, Stiftung Warentest, Berlin

A N H A N G

EIN PROGRAMMSYSTEM ZUR OPTIMIERUNG VON SIMULATIONSMODELLEN

R. HECKLER, F. DREPPER, U. HERMES, H.P. SCHWEFEL

Die Notwendigkeit mathematischer Modellbildung entspringt der Unfähigkeit des menschlichen Geistes, komplexe Strukturen in ihrer vollen Tragweite zu durchschauen. Deshalb hilft eine detailgerechte Formulierung, schwierige Zusammenhänge zu erfassen. Bei einem ausformulierten Modell können häufig durch einfache mathematische Untersuchungen kritische Zustände aufgespürt werden. Weitergehende Einsichten lassen sich bei mathematisch schwierigeren Modellen, mit Hilfe der numerischen Simulation bzw. der Optimierung gewinnen. Da dies für viele mathematische Modelle gleichermaßen von Bedeutung ist, und um den Aufwand für jedes Modell in vertretbaren Grenzen zu halten, ist es wünschenswert, problemunabhängige Programmbausteine greifbar zu haben.

Ausgehend von diesen Überlegungen wurden zwei benutzerfreundliche problemunabhängige Programmsysteme entwickelt.

1. DAIMOS - Data Interface for Modular Dynamic Simulation /1/
2. OASIS - Optimization And Simulation Integrating System /2/

Das 2. System entstand im Rahmen der vorliegenden Studie. Es stellt eine Erweiterung des Simulationssystems dar, indem es die numerische Optimierung eines Simulationsmodells mit wahlweise unterschiedlichen Algorithmen zur nichtlinearen Optimierung gestattet. Dabei ist die Optimierung nicht integraler Bestandteil des Modells, sondern stellt eine Option innerhalb eines übergeordneten Systems dar. Diese Art der Kopplung läßt sich nach vier im Prinzip voneinander unabhängigen Programmebenen ordnen (Abb. 1).

1. auf der untersten Ebene das mathematische Modell (Problemdarstellung)
2. die Simulationsebene, die während des Optimierungsprozesses ihre Interaktivität verliert
3. das Optimierungsverfahren (Lösungsstrategie)
4. die Ebene, die den Einsatz der Verfahren steuert

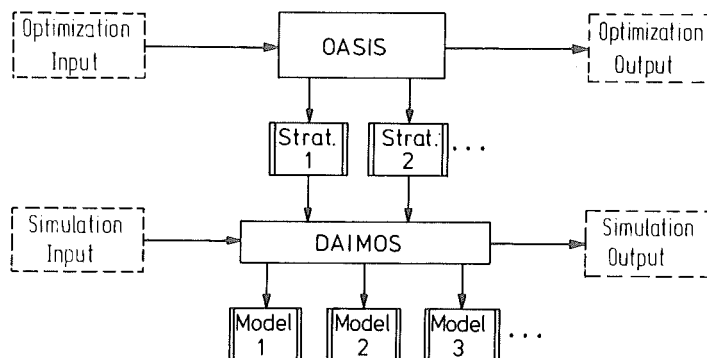


Abb. 1: Kombination von Simulation und Optimierung

Da das Programmsystem zur Simulation eine Voraussetzung für das Optimiersystem darstellt, sei es in seinen wichtigsten Eigenschaften skizziert.

Das Simulationskonzept

Das Programmsystem zur Simulation (DAIMOS) entstand aus der Notwendigkeit umfangreiche Simulationsmodelle wie das in /3/ dargestellte Energiemodell handhaben zu können.

Der Detaillierungsgrad dieses Modells auf der technologischen Seite sowie der Komplexitätsgrad des gesamten Energiesystems inklusiv seiner ökonomischen und ökologischen Aspekte stellen besondere Anforderungen auch an das Steuersystem eines solchen Simulationsmodells. Derartig große Modelle werden in der Regel von mehreren Mitarbeitern erstellt und betreut, deren Detailkenntnis jeweils nur auf einzelne Teilmodelle (Moduln) des

Gesamtmodells beschränkt bleibt. Ein Steuersystem für große Simulationsmodelle sollte deswegen die Möglichkeit bieten, unabhängig voneinander entwickelte und einzeln vorgetestete Moduln einfach zu einem Gesamtmodell zusammenfügen zu können. Zur Analyse von komplexen Rückkopplungsschleifen wie z.B. zwischen Energieangebot, Energienachfrage und Energiepreis ist es darüber hinaus nützlich, durch Abkoppeln von Moduln solche Schleifen temporär wieder aufbrechen zu können. Die Notwendigkeit, das Gesamtmodell als auch die Teilmoduln unabhängig voneinander lauffähig zu halten, macht ein besonderes Steuersystem notwendig, das die Datenversorgung der Moduln übernimmt. Die Schnittstelle zur Ankopplung an das Steuersystem muß dabei so gestaltet sein, daß die Datenversorgung der Moduln wahlweise aus der Datenbasis oder von anderen Moduln erfolgen kann.

Neben der Definition einer einheitlichen Schnittstelle zur Kopplung unabhängig entwickelter Moduln bietet DAIMOS eine ganze Anzahl von Funktionen, die allgemein für dynamische Simulationsmodelle von Nutzen sind. Einige der wichtigsten Funktionen sind:

- Interne Verwaltung der Simulationszeit mit speziellen Zugriffsmöglichkeiten auf vergangene und zukünftige Zeitreihenwerte.
- Rücksprungmöglichkeit für den Zeitindex.
- Synchrone Versorgung der exogenen Modellvariablen mit zeitabhängigen Daten aus der Datenbasis.
- Kontrolle auf Vollständigkeit der Datenbasis.
- Einfache Kopplungsmöglichkeit zwischen Modellmoduln durch Verwenden gleicher Variablennamen.
- Interaktivität und Diagnose während der Simulation.
- Flexibler Ausgabedialog während und nach der Simulation mit unterschiedlichen numerischen und graphischen Formaten.

Hervorzuheben ist, daß die Kopplungen zwischen den Modellmoduln simultan ausgewertet werden. Hierzu wird ein Iterationsschema zur Lösung nichtlinearer, schwach simultaner Gleichungen genutzt, das als Gauß-Seidel Iteration bezeichnet werden kann.

Die modulare Modellstruktur erlaubt hierbei unterschiedliche Iterationsmechanismen.

DAIMOS stellt keine eigene Simulationssprache dar, sondern lediglich ein System von FORTRAN-Programmen, das Simulationsmodelle im weitesten Sinn unterstützt. Diese Modelle werden in FORTRAN formuliert.

Der Benutzer erstellt das Simulationsmodell als ein oder auch mehrere FORTRAN-Unterprogramme, die einen Zeitschritt des Modells ausführen. Die Eingabedaten des Modells in Form von Zeitreihen oder Konstanten werden, losgelöst vom Modell, in einer Datenbasis bereitgestellt.

Aus den Eingabedaten und den Modellbeziehungen ergibt sich dann bei der Simulation das im allgemeinen zeitabhängige (dynamische) Verhalten der Modellvariablen.

Das Programmsystem für die Optimierung

OASIS ist ein modular aufgebautes, problemunabhängiges Steuersystem, das die Problemspezifizierung erleichtert, den Optimierungsprozess steuert und durch Information über Erfolg oder Mißerfolg dem Benutzer die Möglichkeit bietet, interaktiv in den Optimierungsprozess einzugreifen.

Zur Optimierung eines Modells müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein:

- die Festlegung der Entscheidungsvariablen:

$$x = (x_i ; i = 1, 2, \dots, n)$$

- die Formulierung eines Güte- bzw. Bewertungskriteriums:

$$f(x) \longrightarrow \text{Min. (Max.)}$$

Zusätzlich ist bei einigen Optimierungsverfahren die Einhaltung von (Ungleichheits-) Restriktionen möglich:

$$g_j(x) \leq 0 \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, m$$

So hat das allgemeine nichtlineare Optimierungsproblem die Form

$$\min \{ f(x) \mid x \in \Omega \} , \quad \text{wobei}$$

$$\Omega = \{ x \in \mathbb{R}^n \mid g_j(x) \leq 0, j = 1, 2, \dots, m \}$$

den Raum der zulässigen Lösungen darstellt. Bei einem Simulationsmodell handelt es sich vorzugsweise um die mathematische Formulierung eines Systems, für das eine analytische Lösung nicht in Betracht kommt. Aufgrund einer rein algorithmischen Darstellung ist aber im allgemeinen eine analytische Bestimmung des Gradienten

$$\nabla F = \left\{ \frac{\partial F}{\partial x} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n \right\}$$

sehr aufwendig. Das heißt, für die Optimierung von Simulationsmodellen kommen nur solche Verfahren in Betracht, die statt der Ableitungen nur eine Folge von Zielfunktionswerten benötigen. Diese Methoden, deren Arbeitsweise auf einem schrittweisen Vergleich der Zielfunktionswerte beruht, werden als direkte Suchverfahren bezeichnet. Dabei wird ausgehend von einem Punkt $x^{(k)}$ ein neuer Punkt $x^{(k+1)}$ gesucht, so daß gilt

$$f(x^{(k+1)}) < f(x^{(k)}) .$$

Den meisten mehrdimensionalen Strategien liegt als Rekursionschema die Formel

$$x^{k+1} = x^k + s^k v^k$$

zugrunde. Sie unterscheiden sich nur in der Wahl einer erfolgversprechenden Suchrichtung v^k und durch die Schrittweite s^k ,

mit der in dieser Richtung gesucht wird. Dabei mag die Schrittweite fest sein oder durch einen internen Regelmechanismus gesteuert, d.h. vergrößert oder verkleinert werden.

Da ein allgemeingültiges Optimierungsverfahren, das für alle Problemklassen geeignet ist, nicht existiert, ist man gezwungen, auf eine Vielzahl von speziellen Lösungsverfahren zurückzugreifen.

Über das Dialogsystem kann der Benutzer wahlweise ein Verfahren initialisieren und anhand der Ergebnisse das für sein Problem am besten geeignete Verfahren ermitteln. Dazu sind keine zusätzlichen Programmierarbeiten zu leisten.

Zur Zeit sind unter OASIS folgende Algorithmen verfügbar:

CODE	Optimierungsverfahren
	Koordinatenstrategie (Gauß-Seidel-Verfahren)
FIBO	- mit Fibonacci - Intervallteilung
GOLD	- mit Intervallteilung nach dem Goldenen Schnitt
LAGR	- mit Lagrange'scher Interpolation
HOJE	- Strategie von Hooke und Jeeves (Muster Suche)
	Strategie der rotierenden Koordinaten
ROSE	- ohne lineare Suche (Rosenbrock)
	- mit linearer Suche (Davies, Swann und Campey)
DSCG	- mit Orthonormierung nach Gram und Schmidt
DSCP	- mit Orthonormierung nach Palmer
POWE	Strategie der konjugierten Richtungen (Powell)
DFPS	Strategie der variablen Metrik (Davidon, Fletcher und Powell) mit numerischer Gradientenbestimmung nach Stewart und Lill
SIMP	Simplex-Strategie von Nelder und Mead
COMP	Complex-Strategie von M.J. Box

	Evolutionsstrategie	
EVOL	- zweigliedrig	(Rechenberg)
KORR	- mehrgliedrig mit Korrelation	(Schwefel)
BREM	- zufällige Richtung und kubische Interpolation	
		(Bremermann, Milstein)
	Quadratsummenminimierung	
VA05	Powell's Regressionsverfahren	

Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Verfahren findet sich in /4/; hier sind auch eine Reihe weiterer Literaturhinweise enthalten. Welches von diesen Verfahren am geeignetsten ist, d.h. die gesuchte Lösung sowohl zuverlässig als auch mit geringstem Aufwand findet, kann von vornherein nicht gesagt werden. Dies wird von Fall zu Fall auch verschieden sein. Zur Kontrolle sollte man, insbesondere bei multimodaler Zielfunktion (d.h. es gibt mehrere lokale Optima), die Ergebnisse mindestens zweier Strategien miteinander vergleichen.

Als die wichtigsten Kriterien bei einem Vergleich zwischen den einzelnen Verfahren sind anzuführen.

1. Zuverlässigkeit bzw. Robustheit

d.h. für eine große Klasse von Problemen eine befriedigende Lösung zu erreichen.

2. Geschwindigkeit

Anzahl der Berechnungen des Zielfunktionswertes bzw. Rechenzeit bei vorgegebener Zielannäherung.

Die Verknüpfung eines Simulationsmodells mit einem Optimierverfahren kann auf zwei prinzipiell unterschiedlichen Wegen erfolgen.

- Optimierung innerhalb der Simulation

Der Optimierungsalgorithmus wird zu bestimmten Zeitschritten während eines Simulationslaufs aufgerufen, d.h. die Optimierung ist ein integraler Bestandteil des Simulationsmodells. Als Beispiel hierfür sei die im 3. Beitrag beschriebene Betriebskostenminimierung einer Erdölraffinerie mit Hilfe eines Programms zur Linearen Programmierung erwähnt.

- Simulation innerhalb der Optimierung (Abb. 2)

Dabei wird das Modell innerhalb einer Iterationsschleife des Optimierungsalgorithmus durchlaufen.

Für ein dynamisches Modell führt die Optimierung zu einzelnen Zeitschritten nicht notwendigerweise zu einer für den gesamten Zeithorizont optimalen Lösung, da der Verlauf eines dynamischen Prozesses für ein definiertes System durch Systemparameter wie Anfangswerte oder Zeitkonstanten bestimmt wird. Das heißt, um eine für den gesamten Zeithorizont optimale Lösung zu erhalten, ist es notwendig, nach jeder Parameteränderung einen vollständigen Simulationslauf zu starten.

Bei diesem Iterationsschema werden zwei Arten von Nebenbedingungen berücksichtigt.

1. Nebenbedingungen, die nur von den Entscheidungsvariablen x_i abhängen

$$\alpha_j \leq g_j(x_1, \dots, x_n) \leq \beta_j \quad \text{für } j = 1, \dots, m$$

Durch geeignete Transformation der Entscheidungsvariablen lassen sich diese Nebenbedingungen in die Form bringen:

$$a_i \leq x_i \leq b_i \quad \text{für } i = 1, 2, \dots, n$$

Derartige Nebenbedingungen (bounds) sind besonders einfach auszuwerten, da für sie kein Modellauf erforderlich ist.

2. Nebenbedingungen, die auch von Modellvariablen y_k abhängen

$$\alpha_j \leq g_j(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_k) \leq \beta_j$$

Zur Auswertung derartiger Nebenbedingungen (constraints) ist im allgemeinen eine vollständige Simulation erforderlich.

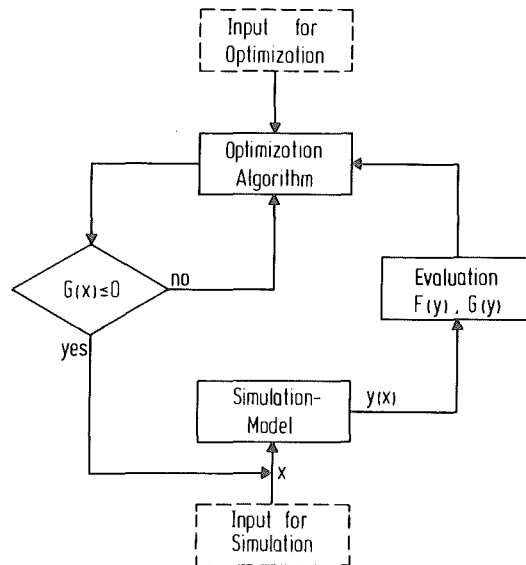


Abb. 2: Iterationsschema

Liegt der Startpunkt außerhalb des zulässigen Bereichs, d.h. mindestens eine der Restriktionen ist verletzt, so erlauben einige Verfahren (EVOL, KORR, COMP) die Suche nach einer zulässigen Lösung. Dazu bilden diese Verfahren aus den verletzten Restriktionen eine stetige Funktion, die im zulässigen Bereich verschwindet.

$$\bar{f}: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}_+ ; \quad x \in \Omega \Leftrightarrow \bar{f}(x) = 0$$

Statt der Zielfunktion wird dann diese Funktion minimiert. Ein zulässiger Punkt ist gefunden, wenn der Wert der Ersatzzielfunktion zu Null geworden ist.

Als ein Beispiel sei folgende Ersatzzielfunktion genannt

$$\bar{f} = \sum_j \{ \max(\alpha_j - g_j, 0) + \max(g_j - \beta_j, 0) \}$$

Bei der Optimierung dynamischer Modelle hat die Zielfunktion meist folgende Gestalt:

$$F(x) = \int_{t_0}^{t_f} f(x, t) dt$$

Da die Funktion $f(x, t)$ analytisch nicht integrierbar ist, muß ein numerisches Quadratschema gewählt werden, bei dem das Integral durch eine gewichtete Summe von Funktionswerten zu definierten Punkten approximiert werden kann.

$$\int_{t_0}^{t_f} f(x, t) dt \approx \sum_v \omega_v f(x, t_v) ; \quad t_v \in [t_0, t_f]$$

Die Suche nach einer bestmöglichen Anpassung (Fit) eines dynamischen Modells $y = f(x, t)$ an eine Zeitreihe $h(t)$, z.B. in Form von experimentellen oder statistischen Daten, führt zur Minimierung der Fehlerquadratsummen.

Dabei ist ein Parametervektor x so zu bestimmen, daß die Summe der Fehlerquadrate

$$S(x) = \int_{t_0}^{t_f} (f(x, t) - h(t))^2 dt \approx \sum_v (f(x, t_v) - h(t_v))^2$$

zu einem Minimum wird. Hierbei wird an das Verfahren (z.B. VAO5) nur der Vektor der Residualgrößen $r_v = f(x, t_v) - h(t_v)$ übergeben.

Optimierungsaufgaben im Zusammenhang mit dynamischen Simulationsmodellen laufen in der Regel darauf hinaus, ein Kontrollproblem zu lösen, d.h. eine Funktion oder mehrere Funktionen über der Zeit zu finden, die das Gütefunktional (ein Integral) minimieren oder maximieren. Nur in einfachen Fällen gelingt die Lösung auf analytischem Weg mit Hilfe des Maximumprinzips. Wenn nicht, muß man die Steuerfunktion diskretisieren oder parametrisieren. Das Kontrollproblem geht dabei über in ein Parameter-Optimierungsproblem. Aber selbst bei geschickter Wahl der Transformation kann die Optimumssuche sich schwierig gestalten, z.B. dadurch, daß es mehrere lokale Optima gibt oder daß der zulässige Bereich nicht zusammenhängend ist. Hier bedarf es der Intuition des Modellbaues, um durch Änderung von Startbedingungen, durch Auswechseln der Optimierverfahren oder durch Austausch von Restriktionen und Zielkriterien die Optimumssuche zu unterstützen. Dies alles wird durch die voll interaktive Steuerung sowie durch den einfachen Wechsel zwischen den Steuerungsebenen von DAIMOS und OASIS im Sinne eines "gaming approach" unterstützt.

Literaturverzeichnis

- /1/ Drepper, F., Hermes, U., Köhnen, M.:
DAIMOS (Data Interface for Modular Dynamic
Simulation) - Benutzerhandbuch
Interner Bericht, KFA-Jülich, IB-4/1981, Okt. 81
- /2/ Heckler, R.:
OASIS (Optimization and Simulation Integrating
System) - Status Report
Interner Bericht, KFA-Jülich, IB-2/1979, Dez. 79
- /3/ Schmitz, K. et al.:
Die Entwicklungsmöglichkeiten der Energiewirt-
schaft in der Bundesrepublik Deutschland
- Untersuchung mit Hilfe eines dynamischen
Simulationsmodells
KFA-Bericht Jül-Spez-1, Bd. I + II, Nov. 1977
- /4/ Schwefel, H.P.:
Numerical Optimization of Computer Models,
Wiley, Chichester, 1981

REIHE ANGEWANDTE SYSTEMANALYSE
DER PROGRAMMGRUPPE SYSTEMFORSCHUNG UND TECHNOLOGISCHE ENTWICKLUNG
KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GMBH - KFA/STE

Nr. 1: Schmitz, K., Niehaus, F.⁺⁾ , Rath-Nagel, St., Voß, A.
Die Entwicklungsmöglichkeiten der Energiewirtschaft in
der Bundesrepublik Deutschland - Untersuchung mit Hilfe
eines dynamischen Simulationsmodells,
Jül-Spez-1, Bd. I, Nov. 1977

Schmitz, K., et al.
Die Entwicklungsmöglichkeiten der Energiewirtschaft in
der Bundesrepublik Deutschland - Untersuchung mit Hilfe
eines dynamischen Simulationsmodells,
Jül-Spez-1, Bd. II, Nov. 1977

Nr. 2: Bohn, Th., Eich, P., Hansen, U., Jehle, B.
Künftige Stromgestehungskosten von Großkraftwerken,
Jül-Spez-2, Nov. 1977

Nr. 3: Wibbe, H.-B.
Probleme der kurzfristigen Markteinführung eines
nuklearen Fernenergiesystems - eine Betrachtung aus
Abnehmersicht für einen räumlich begrenzten Markt,
Jül-1486, Feb. 1978

Nr. 4: Jehle, B.
Einsatzmöglichkeiten und Einsatzbeispiele der Kern-
energie in NRW unter besonderer Berücksichtigung ihres
Beitrags zur Strukturverbesserung,
Jül-Spez-11, Juni 1978

Nr. 5: Hensel, W.
Beitrag zur Standardisierung der Standortbestimmung von
Kernkraftwerken,
Jül-Spez-12, Juni 1978

Nr. 6: v. Lojewski, D.
Wärme-, Strom- und Synthesegasversorgung von Ballungs-
räumen durch Fernenergie - aufgezeigt am Großraum Köln,
Jül-1516, Juni 1978

Nr. 7: Lenhardt, W.
Entwicklung des Strombedarfs in der Bundesrepublik
Deutschland und alternative Möglichkeiten seiner
Deckung,
Jül-Spez-18, Juli 1978

⁺⁾ IAEA, Wien

REIHE ANGEWANDTE SYSTEMANALYSE

- Nr. 8: Kolb, G. (Redaktion)
gemeinsam mit KFA/IRE, KFA/PTH, HRB, GHT
Studie über die Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung
mit Hochtemperatur-Reaktoren,
Jül-1527, Aug. 1978
- Nr. 9: Meliß, M.
Möglichkeiten und Grenzen der Sonnenenergienutzung in
der Bundesrepublik Deutschland mit Hilfe von Nieder-
temperaturkollektoren - Grundlagen, Technische Systeme,
Wirtschaftlichkeit;
Jül-Spez-25, Dez. 1978
- Nr. 10: Wagner, H.J.
Der Energieaufwand zum Bau und Betrieb ausgewählter
Energieversorgungstechnologien - eine nettoenergetische
Analyse,
Jül-1561, Dez. 1978
- Nr. 11: Bartholdi, J.
Einführung der Nuklearen Fernenergie - umweltbedeutsame
Konsequenzen und deren Bewertung,
Jül-1573, Jan. 1979
- Nr. 12: Egberts, G.
Kostenoptimale Entwicklungsperspektiven des Raum-
heizungssektors im Energiesystem der Bundesrepublik
Deutschland,
Jül-Spez-41, Juni 1979
- Nr. 13: Düring, K.
Transport- und Verteilungskosten konventioneller
Systeme zur Wärmeversorgung der Bundesrepublik
Deutschland,
Jül-Spez-57, Okt. 1979
- Nr. 14: Leimkühler, K.
Metallische Rohstoffe - Rezyklierung - Energieeinsatz.
Untersuchung mit Hilfe eines Simulationsmodells,
Jül-Spez-44, Juli 1979
- Nr. 15: Lenhardt, W., Schwefel, H.P., Sievert, D., et al.
Ein Energieversorgungsmodell zur Langfristprognose der
Umwandlungskapazitäten,
Jül-Spez-63, Dez. 1979
- Nr. 16: Kollmann, H.
Die räumliche Wärmebedarfsverteilung der Haushalte und
Kleinverbraucher in der Bundesrepublik Deutschland,
Jül-Spez-64, Dez. 1979

- Nr. 17: Orth, D.
Niedertemperatur-Wärmeversorgung unter besonderer Berücksichtigung ausgewählter neuer Technologien,
Jül-Spez-65, Dez. 1979
- Nr. 18: Manthey, Ch. (editor)
Energy Technology Data Handbook - Conversion Technologies,
Jül-Spez-70, Vol. I, Jan. 1980
- Nr. 19: Manthey, Ch., Tosato, G.C.
Energy Technology Data Handbook - End Use Technologies. Insulation, Space- and Water Heating Systems,
Jül-Spez-70, Vol. II, Okt. 1980
- Nr. 20: Hildebrandt, T.
Die nächsten 50 Jahre,
Analyse und Szenarium der wirtschaftlichen Evolution,
Jül-Spez-81, Juni 1980
- Nr. 21: Finnis, M.W.
Phase II - Final Report of MARKAL Studies for the United Kingdom,
Jül-Spez-92, Okt. 1980
- Nr. 22: Scharff, E., Walbeck, M. (Federführung)
Planstudie: Halboffene Fernenergieversorgung, insbesondere für den Raum Frankfurt a.M. mit Heißwasser-Fernwärmeversorgung für den Raum Köln,
JÜL-Spez-95, Dez. 1980
- Nr. 23: Costa, J.O., Gil Sordo, V., Blasco, M., Jara, A.
Energy Scenarios and Implementation of New Technologies for Spain,
JÜL-Spez-110, April 1981
- Nr. 24: Jaek, W.
Mögliche Entwicklung des weltweiten Ausbaus der Kernenergie unter Berücksichtigung wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und politischer Aspekte,
JÜL-Spez- 118, Juli 1981
- Nr. 25: Schmitz, J.
Abschätzung des energiesparenden Innovationspotentials der Industrie Steine und Erden,
JÜL-1729, Aug. 1981

- Nr. 26: Bansal, N.K., Uhlemann, R., Boettcher, A.
Plastic Solar Air Heaters of a Novel Design - Testing and
Performance,
JÜL-1783, April 1982
- Nr. 27: Höpfinger, E., Drepper, F., Heckler, R., Schwefel, H.P.
unter Mitarbeit von Hermes, U., Horst, H.
Die Entwicklungsmöglichkeiten der Energiewirtschaft in der
Bundesrepublik Deutschland - Untersuchungen mit Hilfe eines
zielgeführten dynamischen Simulationsmodells,
JÜL-Spez-166, Juli 1982
- Nr. 28: Grüter, J.W., Wolff, M.
Die Energieversorgung der Gemeinde Seedorf im Landkreis
Lüchow-Dannenberg, Niedersachsen - Eine Endenergieanalyse
JÜL-Spez-170, August 1982